

bvj

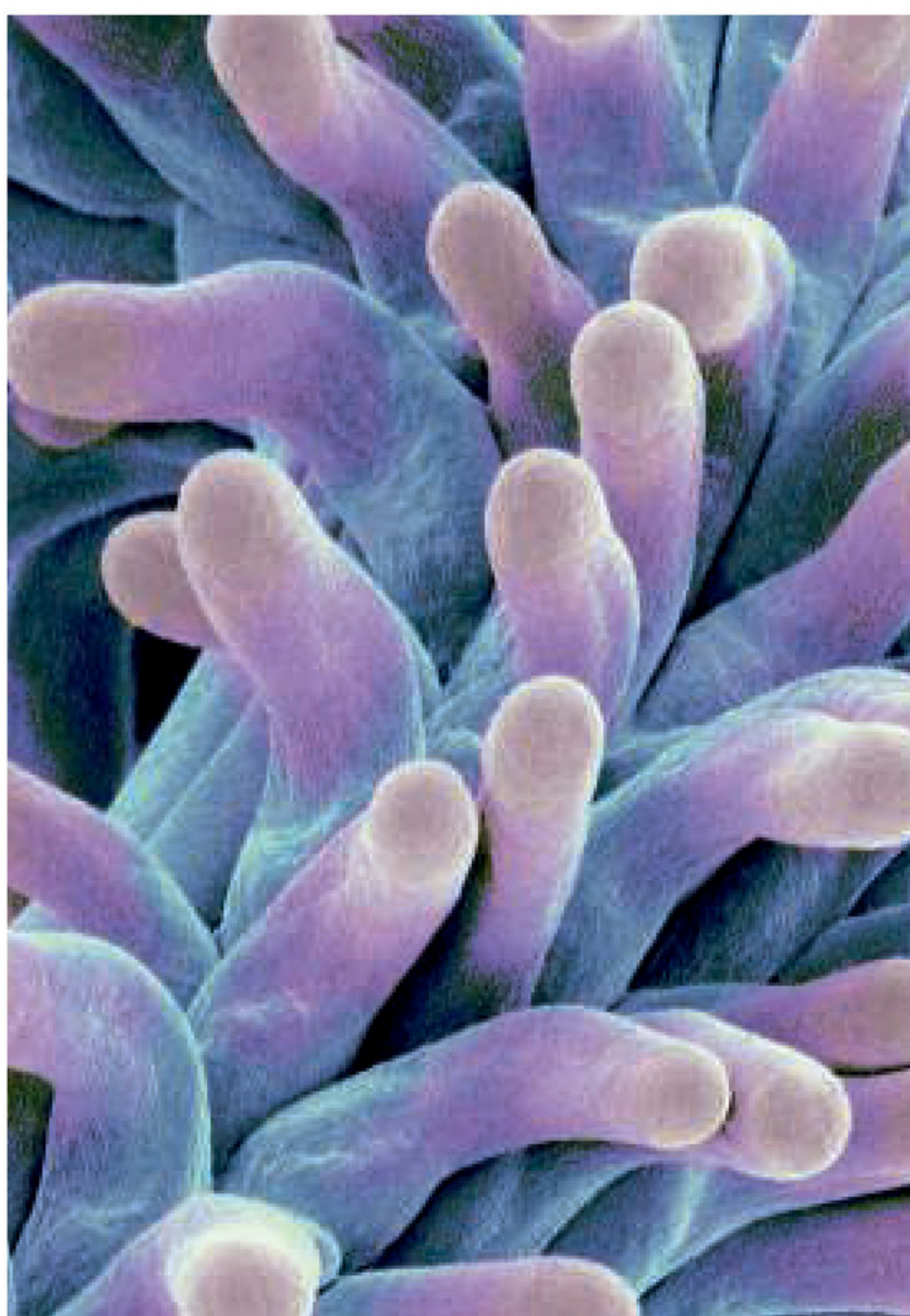


bvj

5a

VWO

biologie voor jou
LEEROPDRACHTENBOEK



BIOLOGIE VOOR DE BOVENBOUW
HAVO

AUTEURS

MARIANNE GOMMERS
ARTHUR JANSEN
ANDRÉ VAN LEIJEN
HANS RAWEE
THEO DE ROUW

EINDREDACTIE

ILSE GMELIG
LINEKE PIJNAPPELS

MET MEDEWERKING VAN

DANIËL VAN DRAANEN
PAULA VAN KRANENBURG
CEES MULDER
MARTEN MULDER

MAX RELEASE 2020

MALMBERG 'S-HERTOGENBOSCH
WWW.BIOLOGIEVOORJOU.NL

Voorwoord

Dit boek maakt deel uit van de methode *Biologie voor jou* voor de bovenbouw van het vwo. Met deze methode kun je (met aanwijzingen van je docent) oefenen op je eigen niveau, en je goed voorbereiden op proefwerken en examens. We gebruiken in deze methode ‘docent’, ‘leerling’ en ‘bioloog’ voor beide geslachten.

Biologie voor jou bestaat uit leeropdrachtenboeken, uitwerkingenboeken en een digitale leeromgeving. Je kunt alle onderdelen uit het boek ook daarin doen.

OPBOUW VAN DE THEMA'S

Biologie voor jou is opgedeeld in thema's. In een thema wordt de leerstof van een bepaald onderwerp uit de biologie behandeld. Alle thema's in de delen 4, 5 en 6 vwo samen vormen de gehele leerstof voor het biologie-examen vwo. De thema's bestaan steeds uit dezelfde onderdelen. Deze staan hierna beschreven.

ONTDEKKEN

In deze context kun je de leerstof ontdekken door een maatschappelijke vraag of probleem op te lossen. Zo ontdek je welke rol biologie speelt in het dagelijks leven. Ook maak je alvast kennis met een deel van de leerstof van het thema. Je docent zegt of en wanneer je met ‘Ontdekken’ aan de slag gaat.

BASISSTOF

In de basisstoffen staat in tekst en beeld alle leerstof die je moet kennen. Ook staan er opdrachten in waarmee je de leerstof oefent. Met behulp van het uitwerkingenboek kun je deze opdrachten zelf nakijken. Je kunt de opdrachten ook maken in de digitale leeromgeving. Bij moeilijke opgaven krijg je direct feedback en de gesloten opgaven worden automatisch nagekeken. Je ziet dan meteen het goede antwoord. Aan het einde van sommige basisstoffen staat een verwijzing naar een opgave uit de Biologie Olympiade. Deze kun je herkennen aan het  symbool. Dergelijke opgaven zijn extra uitdagend. De opgaven waarnaar verwezen wordt, staan achter in dit boek.

SAMENHANG

Met de context in de ‘Samenhang’ leer je nog beter verbanden te leggen tussen de leerstof uit de basisstoffen. Je leert om de verschillende organisatieniveaus in de biologie met elkaar te verbinden, van klein naar groot en andersom.

PRACTICA

De practica staan overzichtelijk bij elkaar in een aparte paragraaf. Bij elk practicum is aangegeven bij welke basisstof het practicum hoort. Veelgebruikte biologische technieken staan in aparte kaders zodat je deze gemakkelijk kunt opzoeken.

AFSLUITING

In de samenvatting staat precies omschreven wat je moet kennen en kunnen voor een proefwerk of toets. De samenvatting is opgedeeld in leerdoelen. Deze leerdoelen kun je ook terugvinden in de basisstoffen. Hierdoor kun je opzoeken welke leerstof bij de samenvatting hoort.

EXAMENTRAINER

Je kunt het thema afsluiten met de ‘Examentrainer’. De examentrainer helpt je niet

ONTDEKKEN

Leven met MS 8

BASISSTOF

- | | | |
|---|---------------------------------------|----|
| 1 | Regeling en homeostase | 10 |
| 2 | Hormonale regulatie | 13 |
| 3 | Het zenuwstelsel | 26 |
| 4 | Reflexen en het autonome zenuwstelsel | 37 |
| 5 | Neurale regulatie | 42 |
| 6 | Spieren en beweging | 52 |

SAMENHANG

Stop met stressen! 64

VERRIJKINGSSTOFFEN

- | | |
|------------------------|---|
| Verliefdheid is chemie |  |
| De effecten van drugs |  |
| Ideeën voor onderzoek |  |

PRACTICA

66

AFSLUITING

- | | |
|--------------|---|
| Samenvatting | 70 |
| Flitskaarten |  |
| Test Jezelf |  |

Examentrainer 75

▲ Opbouw van thema 1

alleen bij de voorbereiding op het examen, maar brengt ook verband aan tussen de verschillende thema's. Zo leer je de samenhang tussen begrippen en processen beter te zien.

EXTRA IN DIGITALE LEEROMGEVING

In de digitale leeromgeving vind je dezelfde onderdelen als in het boek. Daarnaast zijn er verrijkingsstoffen, Test Jezelfs, oefentoetsen, flitskaarten, de Versterk Jezelf en links naar filmpjes over biologische onderwerpen. Deze onderdelen staan hierna beschreven.

VERRIJKINGSSTOF

De verrijkingsstoffen staan alleen online en bevatten extra stof bij het thema. Met de verrijkingsstoffen kun je extra kennis of vaardigheden opdoen, of oefenen op een meer uitdagend niveau.

TEST JEZELF EN OEFENTOETS



Je kunt elke basisstof afsluiten met Test Jezelf. Hierbij krijg je vragen om te testen of je de basisstof voldoende beheerst. Maak je een vraag fout, dan krijg je een herkansing. Haal je de score van 100%, dan weet je dat je de basisstof beheerst.



De Oefentoets wordt pas zichtbaar nadat je een Test Jezelf hebt afgerond. De Oefentoets bestaat uit Test Jezelf opgaven. Met de Oefentoets kun je ook met een heel thema oefenen. Je kunt de Oefentoets zo vaak doen als je wilt.

FLITSKAARTEN



Met de flitskaarten kun je biologische begrippen leren op een leuke en interactieve manier. Hiermee kun je gemakkelijker een thema leren voor je proefwerk of examen.

VERSTERK JEZELF



De Versterk Jezelf helpt je om onderwerpen die je nog niet goed beheerst, te oefenen. Als je veel opgaven bij een bepaald onderwerp niet goed maakt, verschijnt er een uitnodiging op je scherm om de bijbehorende Versterk Jezelf te maken. Je kunt de Versterk Jezelf ook op een ander moment doen.

FILMPJES



Deze knop stuurt je door naar biologiefilmpjes.nl. Hier vind je filmpjes over biologische onderwerpen, gerangschikt per thema.

TOELICHTING BIJ CONTEXTEN

In dit boek staan veel contexten. Contexten verbinden de leerstof. Ook kun je met contexten ontdekken welke rol biologie speelt in het dagelijks leven, in beroepen en in de wetenschap. Bij contexten staan opdrachten die je helpen om de leerstof toe te passen in een nieuwe omgeving. Dit is een goede voorbereiding op het examen.

Sommige contexten staan in een opvallend oranje kader. Maar je zult ook zien dat veel opdrachten kleine contexten bevatten. In de contexten staat nooit nieuwe leerstof die je moet kennen voor het examen. Je hoeft contexten dus niet uit je hoofd te leren.

We wensen je veel plezier bij het werken met dit deel van *Biologie voor jou* en veel succes bij de voorbereiding op je examen.

De auteurs

Inhoud

THEMA 1

Regeling

ONTDEKKEN

Leven met MS 8

BASISSTOF

- 1 Regeling en homeostase 10
- 2 Hormonale regulatie 13
- 3 Het zenuwstelsel 26
- 4 Reflexen en het autonome zenuwstelsel 37
- 5 Neurale regulatie 42
- 6 Spieren en beweging 52

SAMENHANG

Stop met stressen! 64

VERRIJKINGSSTOFFEN

Verliefdheid is chemie 
 De effecten van drugs 
 Ideeën voor onderzoek 

PRACTICA 66

AFSLUITING

Samenvatting 70
 Flitskaarten 
 Test Jezelf 

Examentrainer 75

THEMA 2

Waarneming en gedrag

ONTDEKKEN

Bij zoekt bom 80

BASISSTOF

- 1 Het zintuigstelsel 82
- 2 Het oog 86
- 3 Gedrag beschrijven 99
- 4 Vorming van gedrag 106
- 5 Aangepast gedrag 114
- 6 Sociaal gedrag 122
- 7 Gedrag bij mensen 128

SAMENHANG

Prairiewoelmuizen zoeken troost 132

VERRIJKINGSSTOFFEN

Practica pissebedden 
 Anorexia en boulimia 
 Ideeën voor onderzoek 

PRACTICA 134

AFSLUITING

Samenvatting 138
 Flitskaarten 
 Test Jezelf 

Examentrainer 142

BIOLOGIE OLYMPIADE OPDRACHTEN  144

REGISTER 147

COLOFON 150

T

Regeling

Als je hardloopt, beweeg je met behulp van je spierstelsel. Het hormoonstelsel en het zenuwstelsel regelen dat processen zoals je hartslag en ademhaling worden aangepast aan deze activiteit. Deze orgaanstelsels werken samen aan de homeostase van je lichaam: het min of meer constant houden van de omstandigheden. Dit thema gaat over de bouw, functie en samenwerking van het hormoonstelsel, het zenuwstelsel en het spierstelsel.

ONTDEKKEN

Leven met MS	8
--------------	---

BASISSTOF

1 Regeling en homeostase	10
2 Hormonale regulatie	13
3 Het zenuwstelsel	26
4 Reflexen en het autonome zenuwstelsel	37
5 Neurale regulatie	42
6 Spieren en beweging	52

SAMENHANG

Stop met stressen!	64
--------------------	----

VERRIJKINGSSTOFFEN

Verliefdheid is chemie	📖
De effecten van drugs	📖
Ideeën voor onderzoek	📖

PRACTICA

66

AFSLUITING

Samenvatting	70
Flitskaarten	📖
Test Jezelf	📖
Examentrainer	75







*‘Verstrikt in wat vooraf
logisch leek’*

Leven met MS

►► BASISSTOF 3 EN 5

Deadlines naderen, stukjes moeten geschreven, afspraken wachten. Mijn huis is een puinhoop, stapeltjes post nog onbeantwoord. De thuiszorg staat onaangekondigd voor de deur. En steeds maar telefoon. Rust wil ik. Stille om mijn gedachten te ordenen. Aandacht om voor mijn drukke hoofd en lijf te zorgen.

Vrienden hebben een huis in Frankrijk, een kasteel eigenlijk. Ik ben daar welkom en de omgeving is prachtig. Zij hebben een fiets en 24 hectare gras om te maaien. In de Franse buitenlucht zullen de gedachten in mijn spaghetti-volle hoofd zich ontwarren tot heldere, overzichtelijke slierten. Even geen afleiding, geen verplichtingen, en vooral géén telefoon. Alleen lieve vrienden, 's avonds aan een lange tafel met hun eigen verhalen.

Ik vertrek naar Frankrijk. Dat ik last heb van mijn cognitie weet ik; concentreren gaat moeizaam. Kletsen met de radio aan is uitgesloten. Namen kunnen zomaar zoek zijn in mijn hoofd. Hele stukken lees ik, zonder daadwerkelijk op te slaan wat er nou eigenlijk staat. Tijdens het koken raak ik verstrikt in wat vooraf een logische volgorde leek van ingrediënten en kooktijd. Als ik 'n moeilijke vraag beantwoord, sluit ik het liefst in stilte mijn ogen om mijn hersenen de rust te geven de woorden te vinden die ik bedoel. Het zijn heerlijke zonnige dagen in het kasteel. Elke dag lees ik in de ochtend 'n hoofdstuk uit mijn boek. En 's middags op de grasmaaier of fiets kan ik ontspannen, dan lijkt er even geen MS. Gelukkig heb ik er deze week weinig last van. Terwijl ik een week voor vertrek nog een aanval kreeg waarin mijn gezichtsvermogen tijdelijk verminderde en alle kracht uit mijn spieren leek te verdwijnen.

Als ik ga fietsen, neem ik mijn navigatie mee om niet te verdwalen. Gisteren ging dat niet zoals gepland. Wat 'n kort ommetje zou zijn, werd een uitdagende tocht doordat ik het vertrekpunt vergat in te voeren. Een prachtige daling kwam plotseling op mijn pad. Halverwege realiseerde ik mij dat deze daling niet goed kon zijn. Inderdaad, na die paar minuten dalend genot kwamen stevige klimmen. Waar is het kasteel? Het werd 'n onlogische route. Meerdere keren vroeg ik de weg, de uitleg was ik een paar meters verderop alweer vergeten ... Anderhalf uur later stond ik bij de gedekte lange tafel waar mijn vrienden ongerust wachtten. Gauw stapte ik onder de warme douche. Eerst checkte ik de thermostaatknop. Ik wilde mij niet verbranden doordat mijn gevoelloze huid de signalen niet meer goed doorgeeft. Quiche geurde in de oven; gelukkig geen spaghetti, daar had ik mijn hoofd al vol van.

Bron: www.toekomstmetms.nl/ (28 mei 2015).

Tessa van den Berg schrijft maandelijks een blog over haar leven met multiple sclerose op de website www.toekomst-metms.nl. Zij zet zich in als patiëntenambassadeur bij Stichting MS Research. In deze rol spreekt zij als ervaringsdeskundige voor mensen met MS. MS Research zet zich in voor onderzoek naar de oorzaak, behandeling en mogelijkheden voor genezing van multiple sclerose.

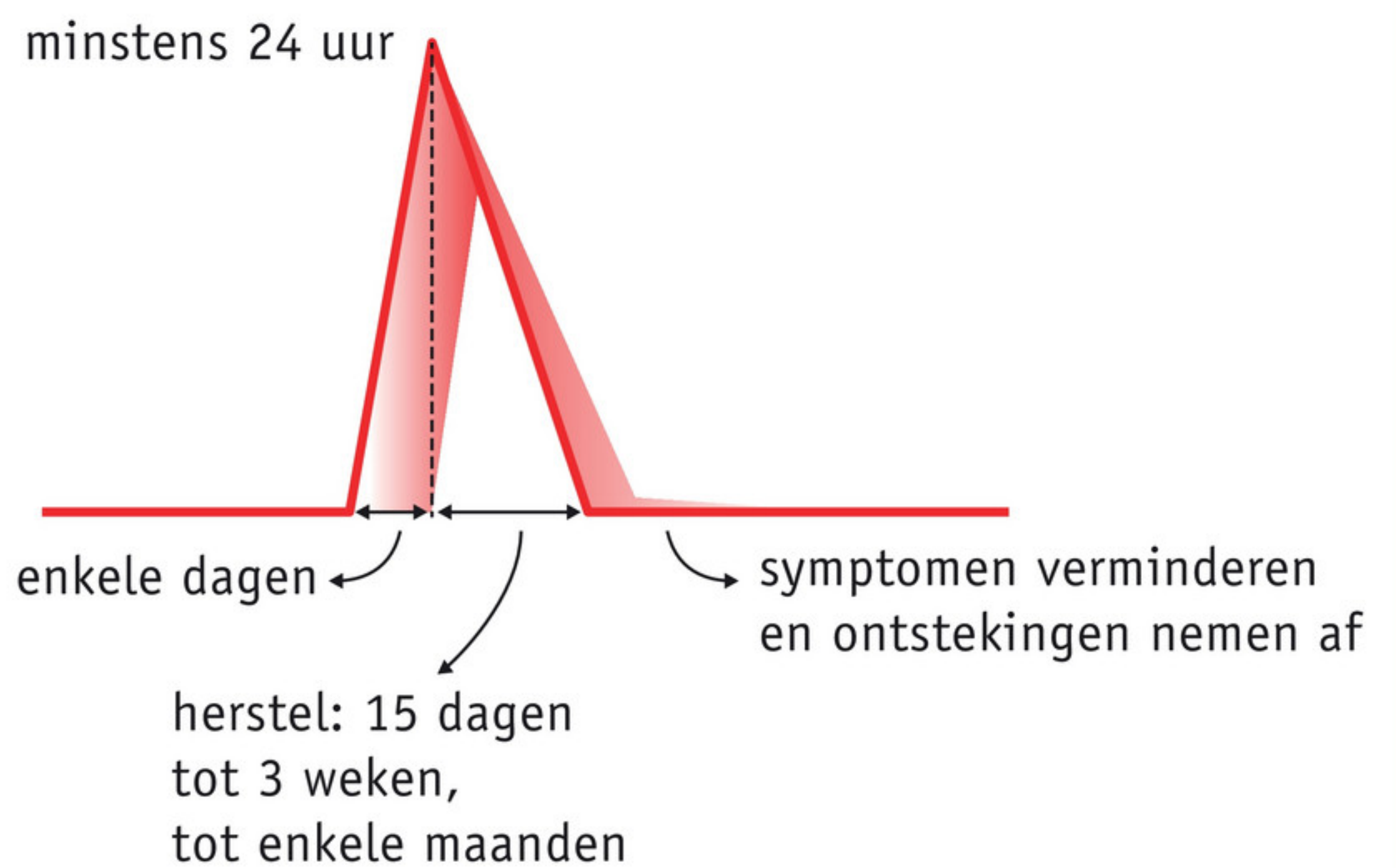
opdrachten

- 1 Tessa moet vaak uitleggen wat het verschil is in verwerking van prikkels en impulsen bij een persoon mét en een persoon zónder MS. Ze wil daarvoor graag een infographic gaan gebruiken en vraagt jullie, haar collega's, om die voor haar te maken. Een infographic is een combinatie van korte teksten, begrippen en beeld en is bedoeld om informatie over te dragen.
 - a Begrippen die ze altijd gebruikt in haar uitleg, en die ze dus graag wil terugzien in jullie infographic, zijn: *alles-of-nietsprincipe*, *cellen van Schwann*, *centraal zenuwstelsel*, *impulsen*, *myelineschede*, *perifeer zenuwstelsel*, *receptoren*, *saltatoire geleiding (sprongsgewijze impulsgeleiding)*, *schakelneuronen en motorische neuron*en, *sensorische neuron*en, *witte stof en zenuw*.
 - b In het tweede deel van de infographic laten jullie zien hoe de symptomen bij mensen met MS te verklaren zijn. Gebruik hierbij de symptomen die Tessa beschrijft in haar blog en de verschillende centra in de hersenschors.
- 2 Een van de meest gestelde vragen aan Stichting MS Research is: hoe ziet mijn toekomst eruit? Patiënten vragen zich af hoe MS zich bij hen zal ontwikkelen de komende jaren. De medewerkers van de stichting zijn geen arts en kunnen niet in de toekomst kijken, maar kunnen patiënten wel drie scenario's voorleggen aan de hand van drie verschillende tekeningen van neuronen. Gebruik bij je uitleg afbeelding 1 en 2, het begrip 'relapse' of aanval en eventueel bronnen op internet zoals de websites van de Hersenstichting, Nationaal MS fonds, MS Vereniging Nederland en MS Research.

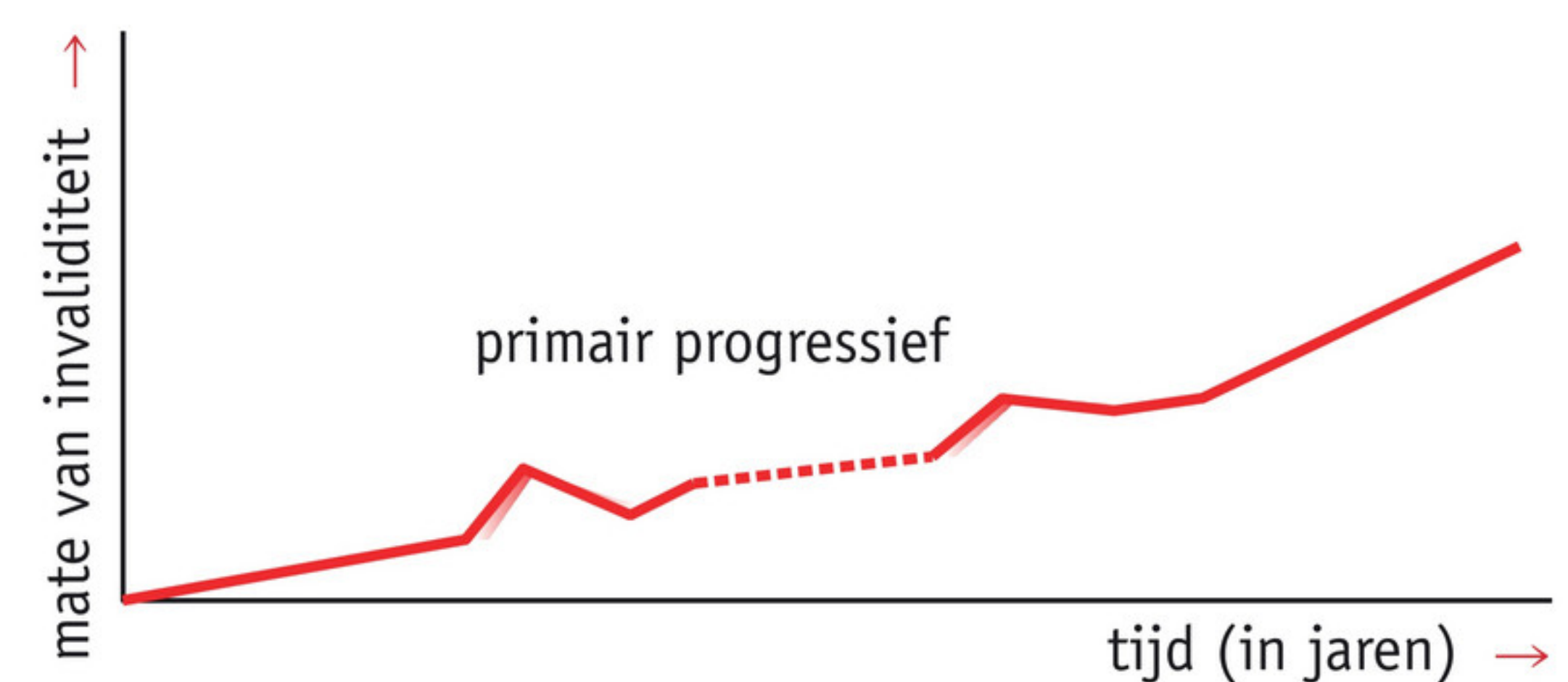
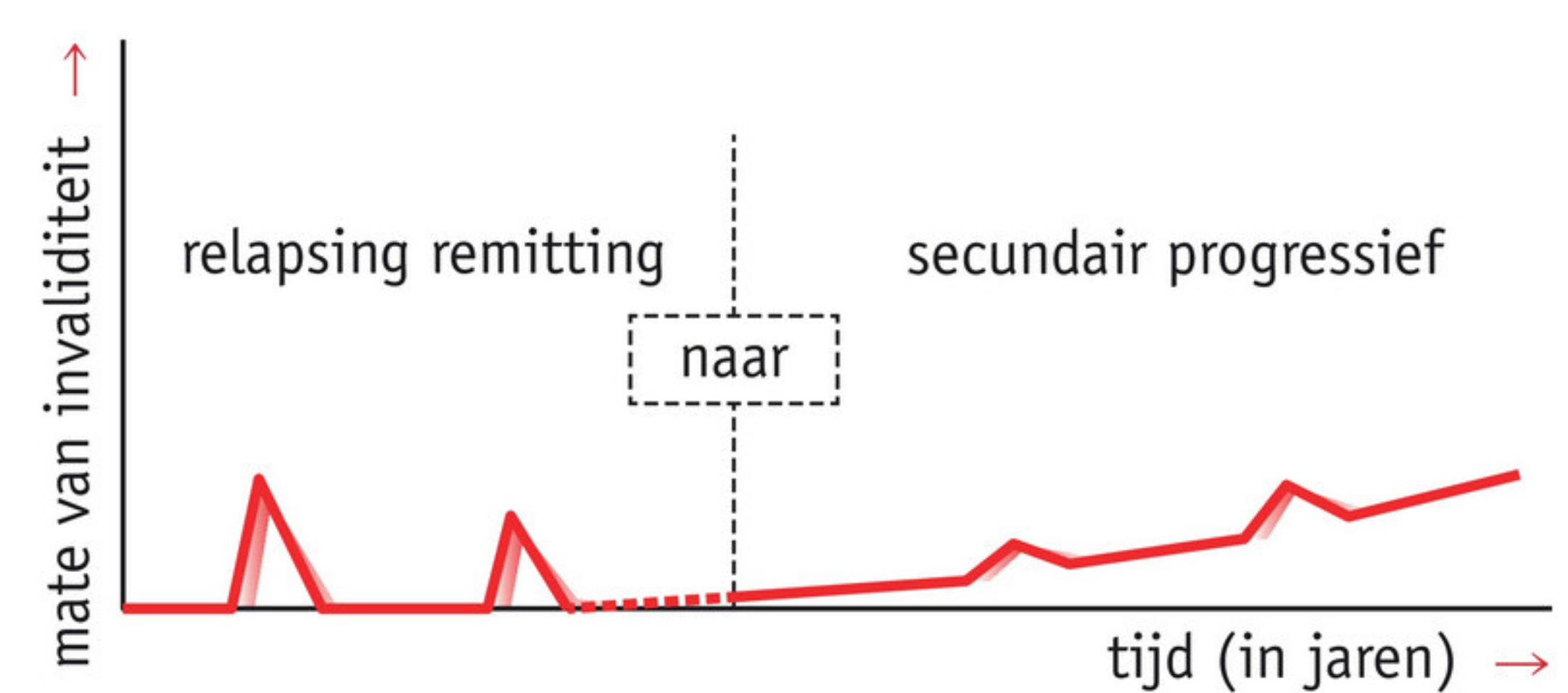
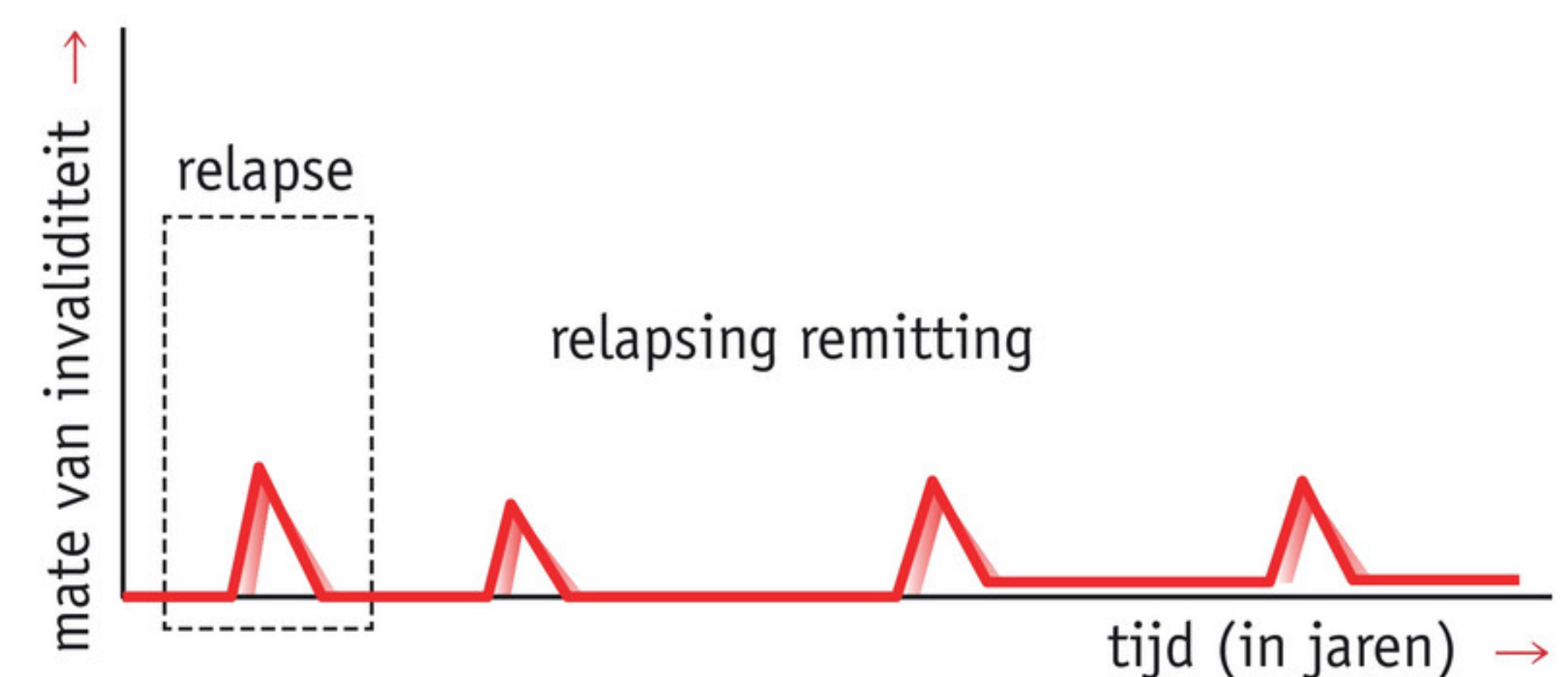
Wat is een relapse?

Kenmerkend voor MS is dat de symptomen in het begin in aanvallen komen. De aanvallen noem je 'relapses' en de herstelfase de 'remitting phase'.

▼ Afb. 1 Een relapse.



▼ Afb. 2 Het verloop van MS.



Leerdoelen

- Je kunt beschrijven hoe regelkringen een rol spelen bij het handhaven van de homeostase bij de mens.

1

Regeling en homeostase

Elk organisme neemt stoffen op uit de omgeving en geeft stoffen af aan de omgeving. Waarom neem je zuurstof, voedsel en water op uit je omgeving en geef je koolstofdioxide, urine, ontlasting, zweet en warmte eraan af?

HOMEOSTASE

Je lichaam handhaaft factoren zoals de zuurstofconcentratie en glucoseconcentratie in het bloed, de osmotische waarde van lichaamsvloeistoffen en de lichaamstemperatuur rondom een bepaalde waarde. Dit is de **normwaarde**. Je normale lichaamstemperatuur schommelt rondom een normwaarde van 37 °C doordat factoren zoals de omgevingstemperatuur en activiteiten je lichaamstemperatuur steeds beïnvloeden. Hier is sprake van een **dynamisch evenwicht**. Dit wordt in stand gehouden door een **regelkring**. Het in stand houden van een dynamisch evenwicht in het inwendige milieu van organismen noem je **homeostase** (Grieks: *homoios* = gelijk; *stasis* = toestand).

REGELKRINGEN

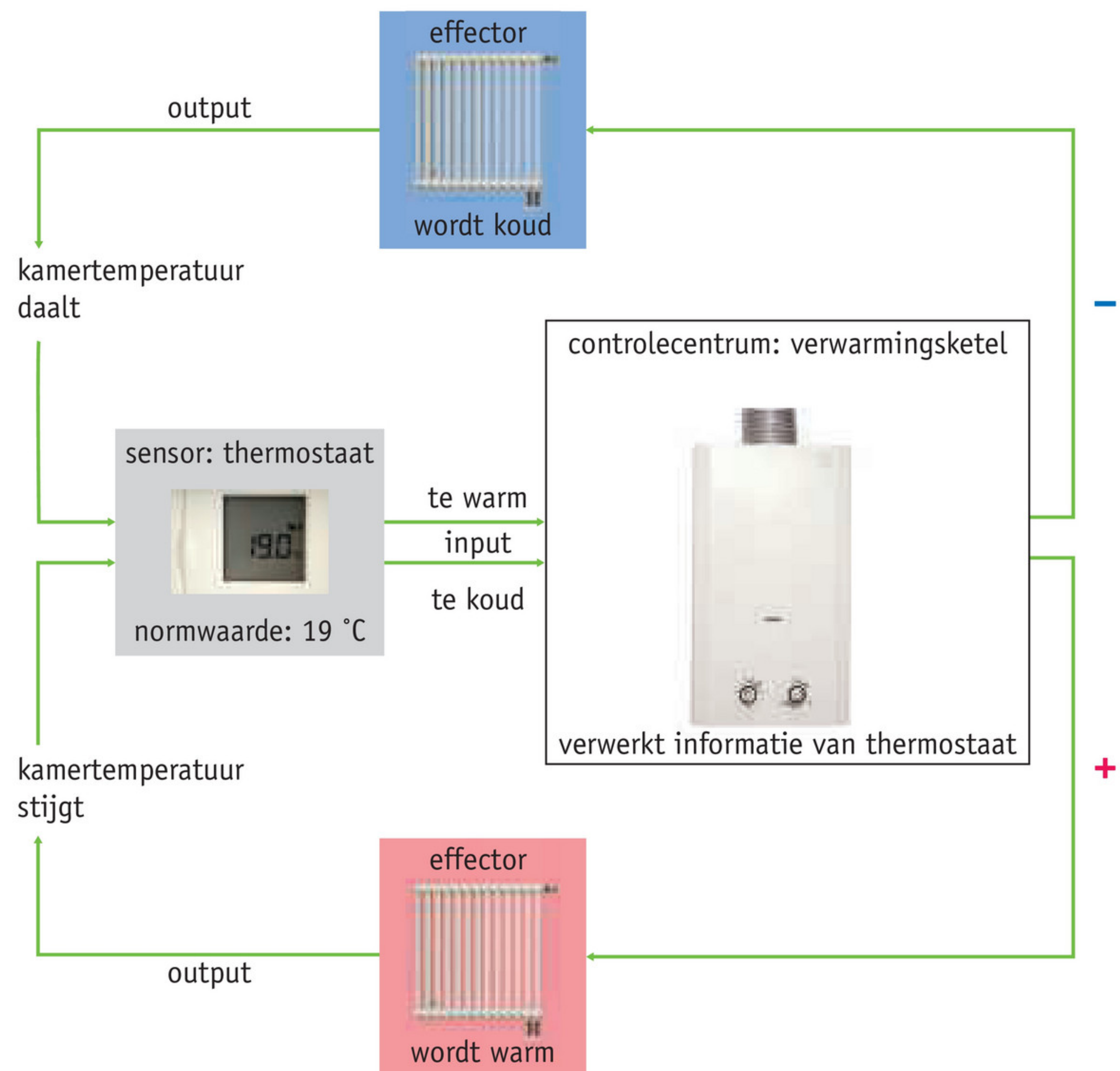
In de techniek worden ook regelkringen gebruikt. Bijvoorbeeld om in een huis de kamertemperatuur te regelen met behulp van centrale verwarming. Dit systeem bestaat uit radiatoren, een thermostaat en een verwarmingsketel. Om een min of meer constante temperatuur in huis te kunnen handhaven, vormen deze delen samen een regelkring die bestaat uit een sensor, een controlecentrum en een effector (= uitvoerder) (zie afbeelding 1). De thermostaat is de sensor en staat bijvoorbeeld afgesteld op 19 °C (normwaarde). De thermostaat geeft een signaal af aan de verwarmingsketel (het controlecentrum) wanneer de temperatuur in de kamer lager wordt dan 19 °C. De verwarmingsketel verwarmt water en pompt dat naar de effector: de radiator. De temperatuur in de kamer stijgt. Wanneer de temperatuur in de kamer hoger is dan 19 °C, geeft de sensor geen signaal meer af aan de verwarmingsketel. De temperatuur van de radiator daalt en de kamertemperatuur gaat omlaag.

Wanneer een toename van het resultaat (stijging van de temperatuur) een remming van het proces veroorzaakt, spreek je van **negatieve terugkoppeling** (negatieve feedback). Een afname van het resultaat (daling van de temperatuur) veroorzaakt een stimulering van het proces. In afbeelding 1 is dit aangegeven met – en +. Op deze manier blijft de temperatuur in de kamer ongeveer 19 °C.

Bij een regelkring waarin een toename van het resultaat het proces versterkt, spreek je van **positieve terugkoppeling** (positieve feedback). Een voorbeeld hiervan bij de mens is de oxytocineregelkring bij de bevalling. Wanneer aan het eind van de zwangerschap het progesteronegehalte bij de moeder daalt, neemt de productie van het hormoon oxytocine toe. Oxytocine zorgt voor regelmatige samentrekkingen van de baarmoeder: de weeën. Door de weeën wordt het hoofdje van de baby tegen de uitgang van de baarmoeder gedrukt. Dat leidt tot meer afgifte van oxytocine met als gevolg meer en krachtigere weeën. Hierdoor neemt de druk van het hoofdje nog meer toe en daardoor de productie van oxytocine.

Bij meercellige organismen hebben de meeste cellen geen direct contact met het **uitwendige milieu** (de omgeving) doordat ze worden omgeven door andere cellen. Tussen de cellen van een weefsel bevindt zich weefselvloeistof. Samen met het bloed vormt de weefselvloeistof het **inwendige milieu** van een organisme. Tussen het inwendige en het uitwendige milieu bevindt zich ten minste één cellaag. De inhoud van darmen, longen en blaas hoort bij het uitwendige milieu. Homeostatische regelkringen in je lichaam zorgen ervoor dat de omstandigheden in het inwendige milieu niet te veel veranderen. De zuurstofconcentratie, glucoseconcentratie en osmotische waarde van weefselvloeistof en bloed veranderen voortdurend, maar schommelen steeds rondom de normwaarde. Homeostase is een voorbeeld van zelfregulatie van een organisme.

► **Afb. 1** Een voorbeeld van een regelkring: het verwarmingssysteem in een huis.



opdrachten

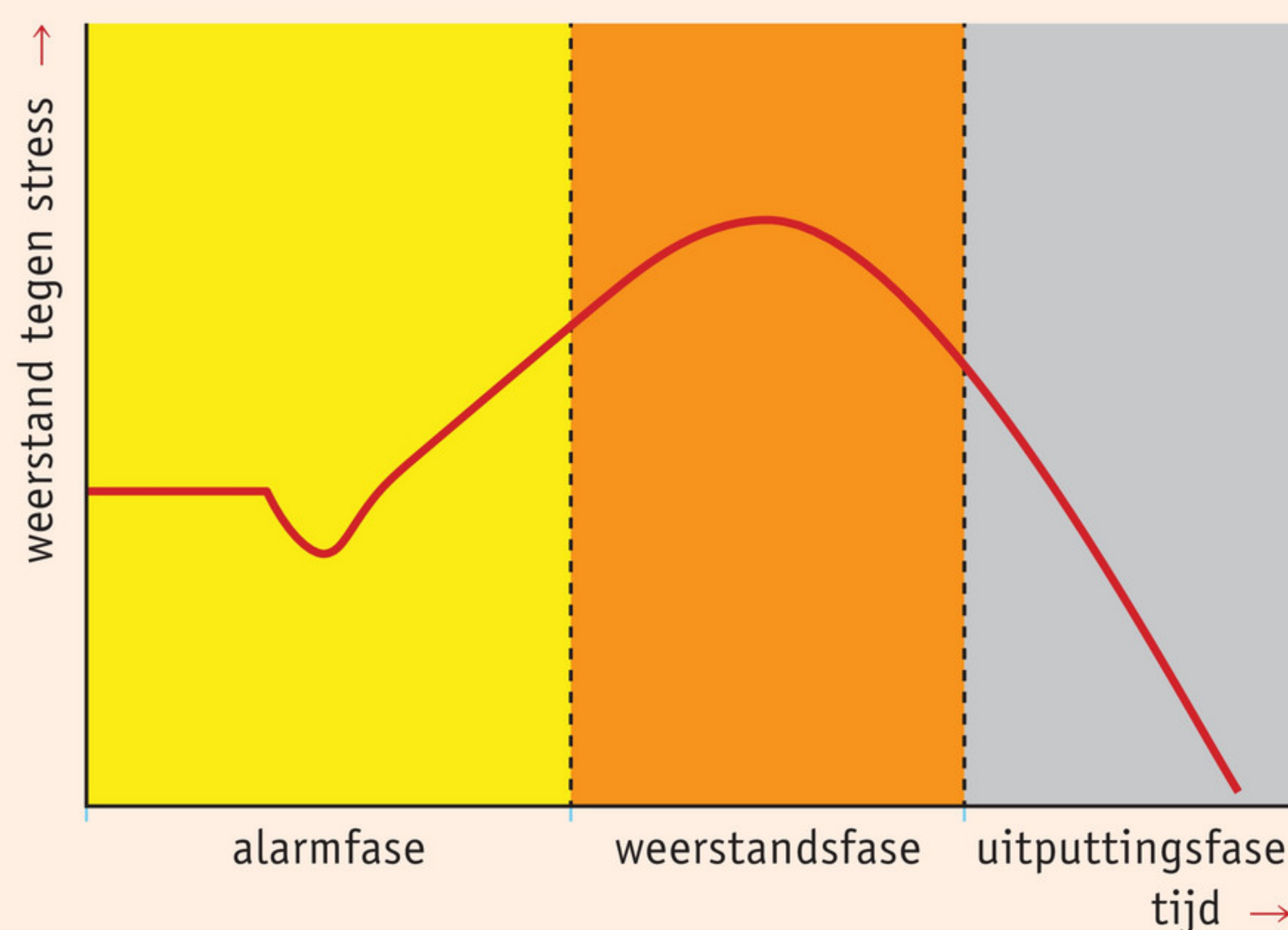
- 1
 - a Wat betekent homeostase?
 - b Wat is een regelkring?
 - c Op welk organisatieniveau vindt homeostase plaats?
- 2 Bij een direct dynamisch evenwicht is de input van stoffen en energie gelijk aan de output. Bij een indirect dynamisch evenwicht wordt een evenwichtssituatie hersteld nadat een bepaalde waarde is overschreden. Volgens welke variant van een dynamisch evenwicht wordt de homeostase in een organisme gehandhaafd? Leg je antwoord uit.
- 3 Hoe stopt de oxytocineregelkring bij een vrouw die aan het bevallen is? Leg je antwoord uit.

Het verloop van stressreacties

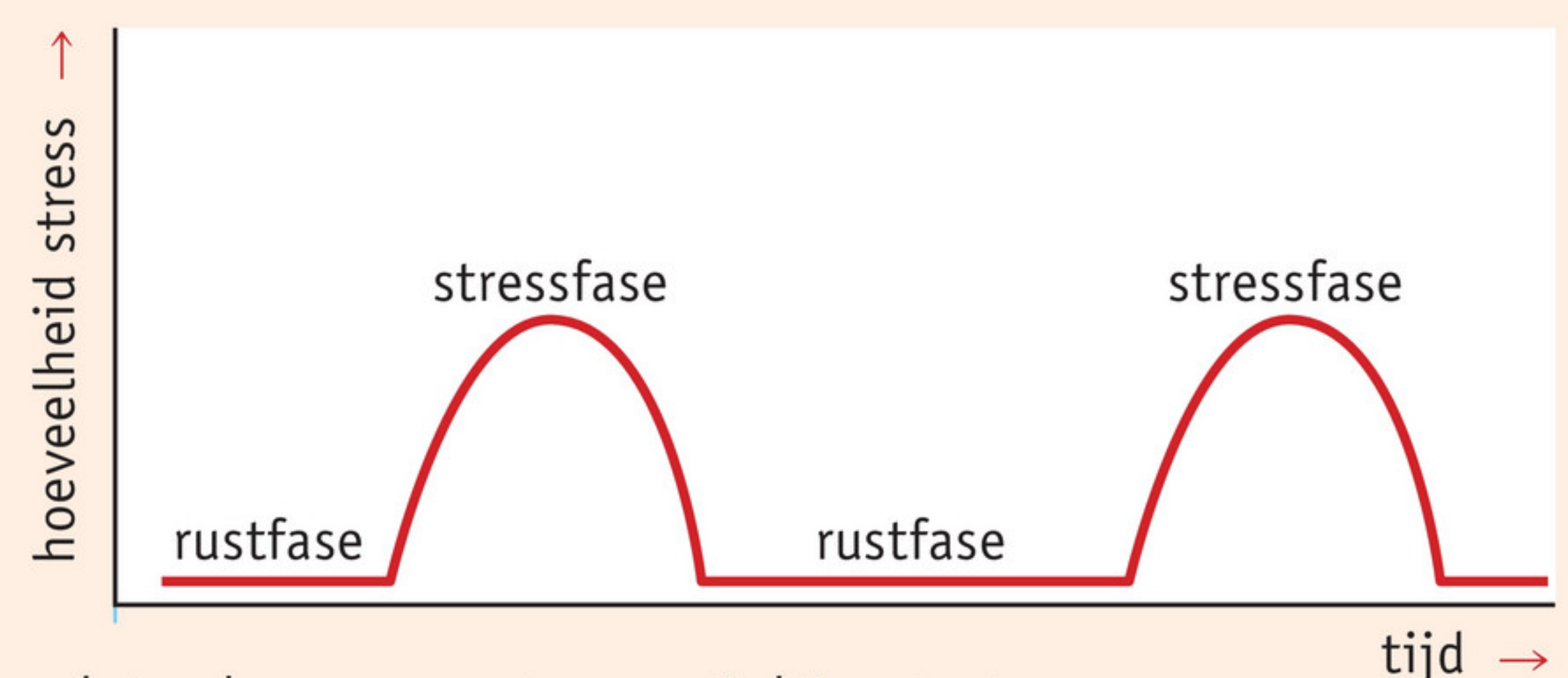
Uit wetenschappelijk onderzoek is gebleken dat zo'n 30% van alle vwo-scholieren last heeft van stressreacties zoals vermoeidheid en concentratieproblemen. Bij 15% is het stressprobleem chronisch, wat uiteindelijk kan leiden tot psychische stoornissen zoals een depressie, paniekaanvallen of een burn-out.

De endocrinoloog János Hugo Bruno Selye ontdekte dat een stressreactie volgens een vast patroon verloopt. Hij onderscheidde drie fasen bij het verloop van een stressreactie (zie afbeelding 2.1). Na het doorlopen van deze fasen keert de weerstand van het lichaam tegen stress na een tijdje weer terug naar het normale niveau. Bij chronische stress volgen de stressreacties elkaar te snel op (zie afbeelding 2.3). Het lichaam heeft dan te weinig tijd om te herstellen en raakt vervolgens uitgeput. Dit kan uiteindelijk leiden tot psychische stoornissen.

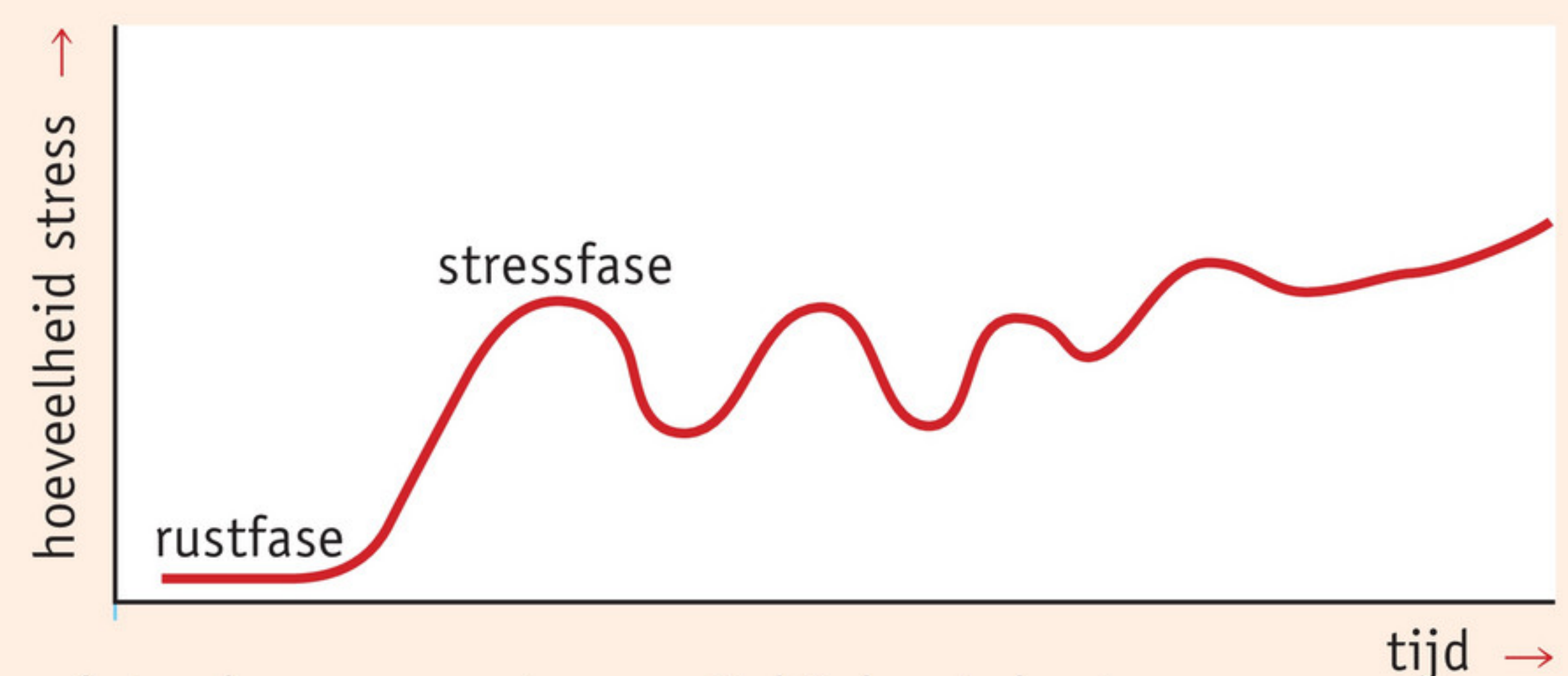
▼ **Afb. 2** Fasen bij stressreacties.



1 het verloop van een stressreactie



2 het verloop van een stressreactie bij acute stress



3 het verloop van een stressreactie bij chronische stress

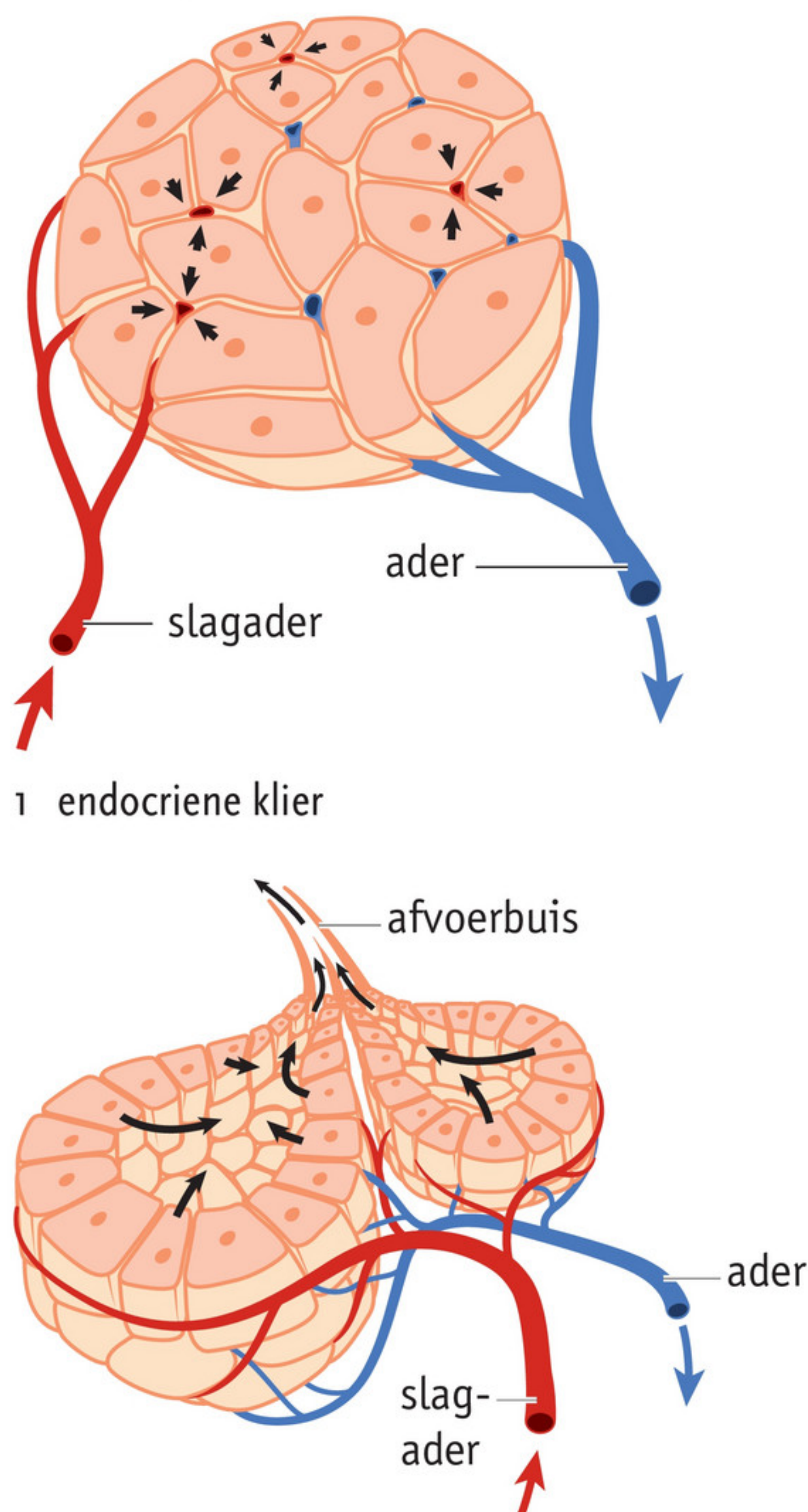
opdracht

- 4 Mensen ervaren stress als de invloed van de veroorzakers van stress (stressoren) toeneemt.
 - a Noteer vijf stressoren die bij jou een stressreactie veroorzaken.
 - b Bekijk afbeelding 2.1.
In welke fase van de stressreactie bevind je je als:
 - 1 de bronnen van energie tegen de stressor opraken?
 - 2 je lichaam ervoor zorgt dat je zo weerbaar mogelijk bent zodra je met een stressor te maken krijgt?
 - 3 je lichaam meer energie vrijmaakt waardoor de weerstand voor de stressor stijgt en je energie opgaat aan het bieden van weerstand tegen de bron van stress?
 - c Afbeelding 2.2 en 2.3 geven het verloop van stressreacties bij acute stress en bij chronische stress.
In welk geval is er sprake van positieve terugkoppeling? Leg je antwoord uit.

Leerdoelen

- Je kunt beschrijven op welke manieren hormonen de cellen van weefsels en organen kunnen beïnvloeden.
- Je kunt de werking van hormoonklieren en hun hormonen beschrijven en afleiden hoe doelwitorganen daarop reageren.

▼ Afb. 3 Klieren.



2 exocriene klier

► Afb. 4 Een endocriene klier (hormoonklier) met doelwitorgaan.

2 Hormonale regulatie

Wanneer je lichaam geslachtshormonen gaat maken, kom je in de puberteit. Hormonen zijn nodig voor het regelen van lichaamsprocessen. Maar wat gebeurt er als je lichaam te veel hormonen aanmaakt? Zo ontstaat bijvoorbeeld reuzengroei door hormonen die de groei regelen.

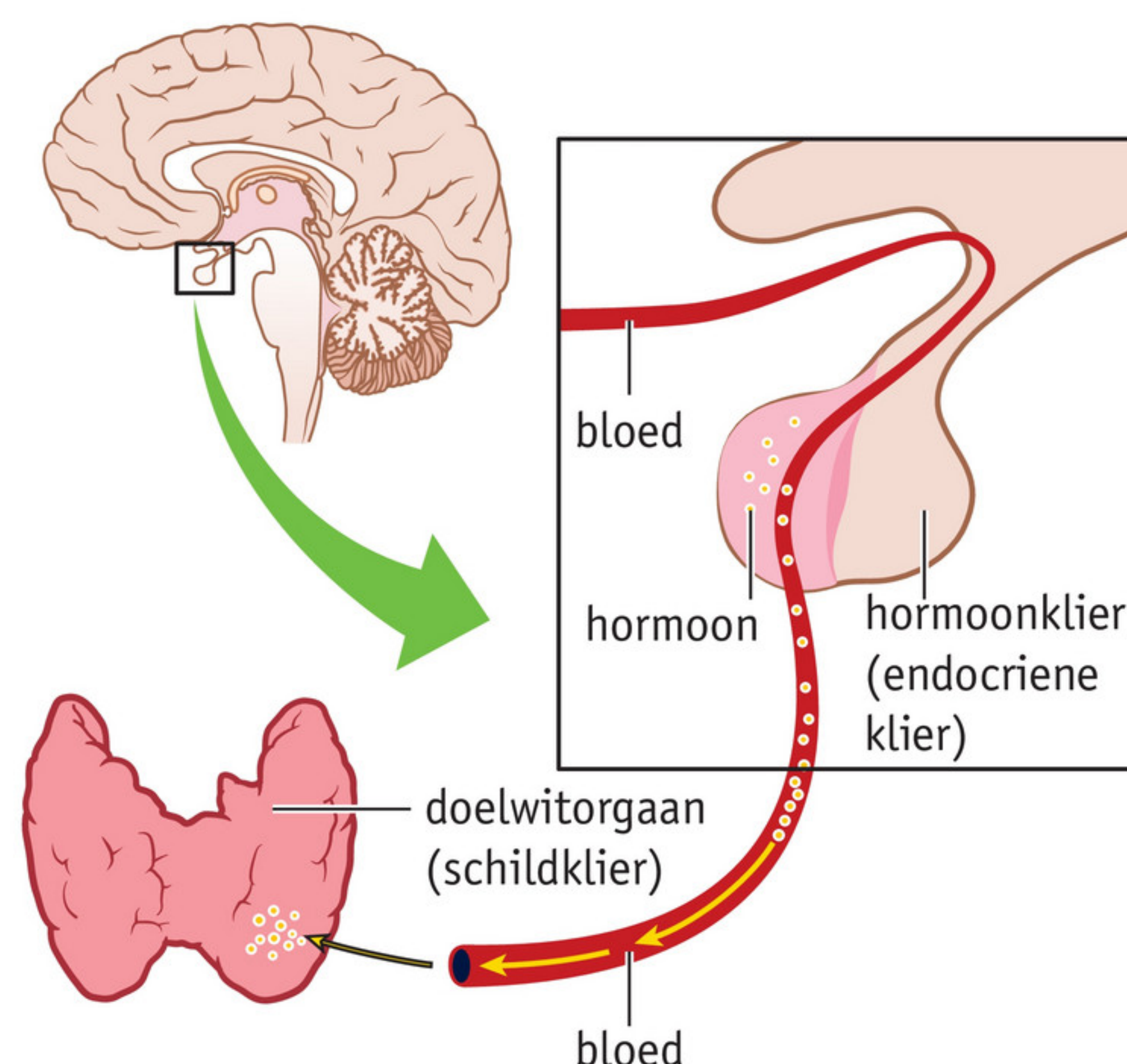
HORMONEN

Voor homeostase in meercellige organismen is communicatie tussen cellen nodig. In organismen vindt communicatie tussen cellen plaats via **signaalmoleculen** (**signaalstoffen**). Zelfs over grote afstanden is met signaalmoleculen communicatie mogelijk tussen de cellen van een organisme.

De signaalmoleculen die de cellen van hormoonklieren afgeven, zijn **hormonen**. Ze worden afgegeven aan het bloed dat door de hormoonklier stroomt. Je noemt hormoonklieren daarom ook wel **endocriene klieren** (zie afbeelding 3.1). De afgifte van hormonen door de hormoonklier heet secretie. Klieren met een afvoerbuis heten **exocriene klieren** (zie afbeelding 3.2). Zweetklieren en speekselklieren geven hun product af via een afvoerbuis. Dat heet excretie of uitscheiding.

DOELWITORGANEN

Het bloed transporteert hormonen door het lichaam. Vanuit de bloedvaten gaan hormonen via de weefselvloeistof naar alle cellen van een organisme. De hormonen zijn alleen werkzaam in organen waarvan de cellen **receptoren** bezitten waaraan het hormoon kan binden: de **doelwitorganen** (zie afbeelding 4). De binding kan in de cellen van deze organen een reactie op gang brengen of een reactie stoppen. De mate van reactie van een doelwitorgaan wordt onder andere bepaald door de hormoonconcentratie (**hormoonspiegel**) in het bloed en door het aantal hormoonreceptoren voor een bepaald hormoon op de cellen in het doelwitorgaan. Een hormoon kan processen in meerdere doelwitorganen regelen. Doordat hormonen vaak lang in het bloed en in het weefsel van doelwitorganen aanwezig blijven, houden de effecten lang aan. Hormonen reguleren onder andere geleidelijke processen die uitwerking hebben op het hele lichaam, zoals de groei en ontwikkeling, stofwisseling en voortplanting.



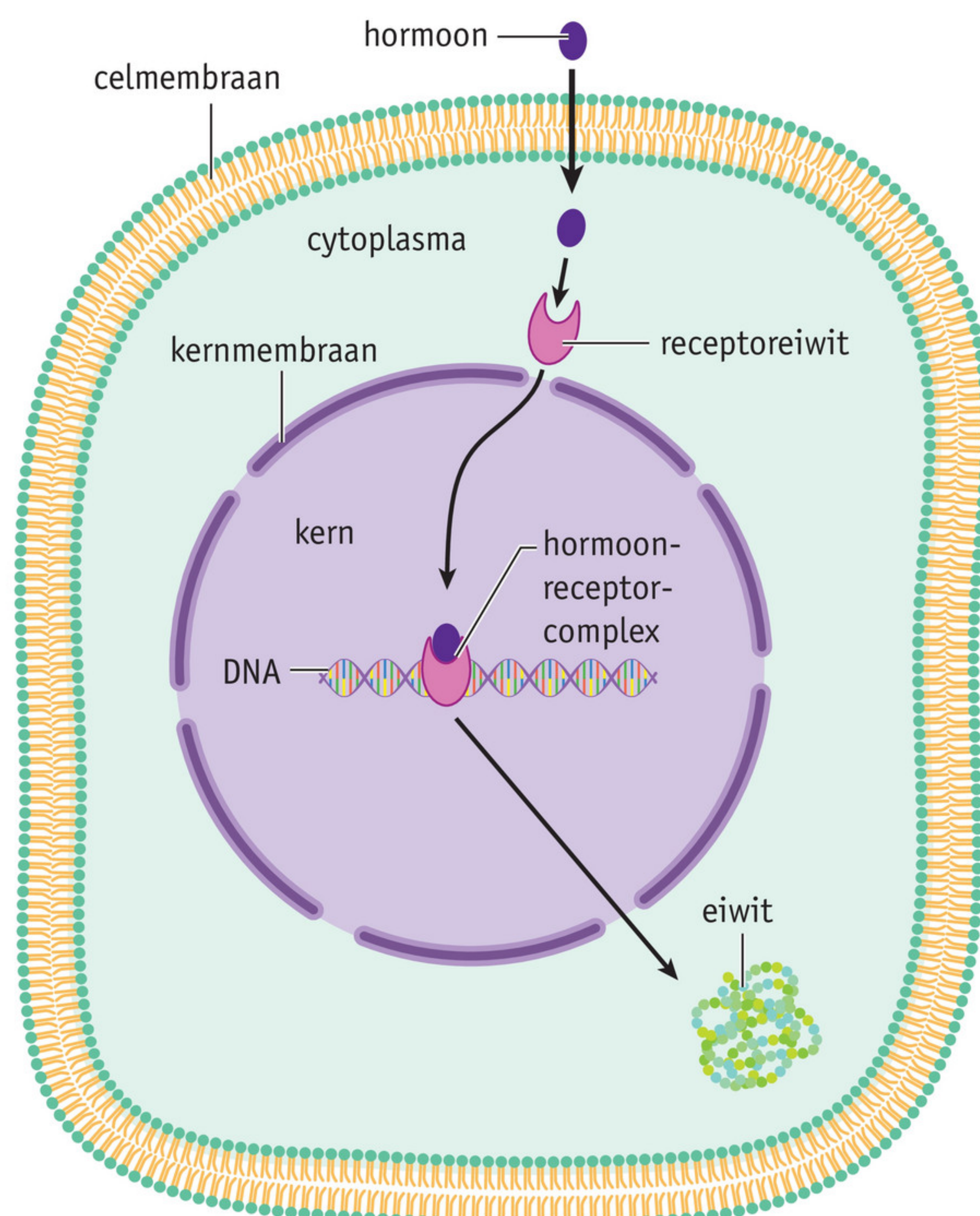
DE WERKING VAN HORMONEN

Sommige hormonen worden door de cellen van een doelwitorgaan opgenomen. Wanneer een hormoon in het cytoplasma komt, bindt het hormoon meestal aan een receptoreiwit. Hierdoor ontstaat een **hormoon-receptorcomplex** (zie afbeelding 5.1). Het hormoon-receptorcomplex komt via een kernporie in het kernplasma en kan dan bepaalde genen in het DNA aan- of uitzetten. Wanneer een gen aan staat, kan de cel eiwitten maken die bijvoorbeeld kunnen dienen als enzym, als hormoon of als receptoreiwit.

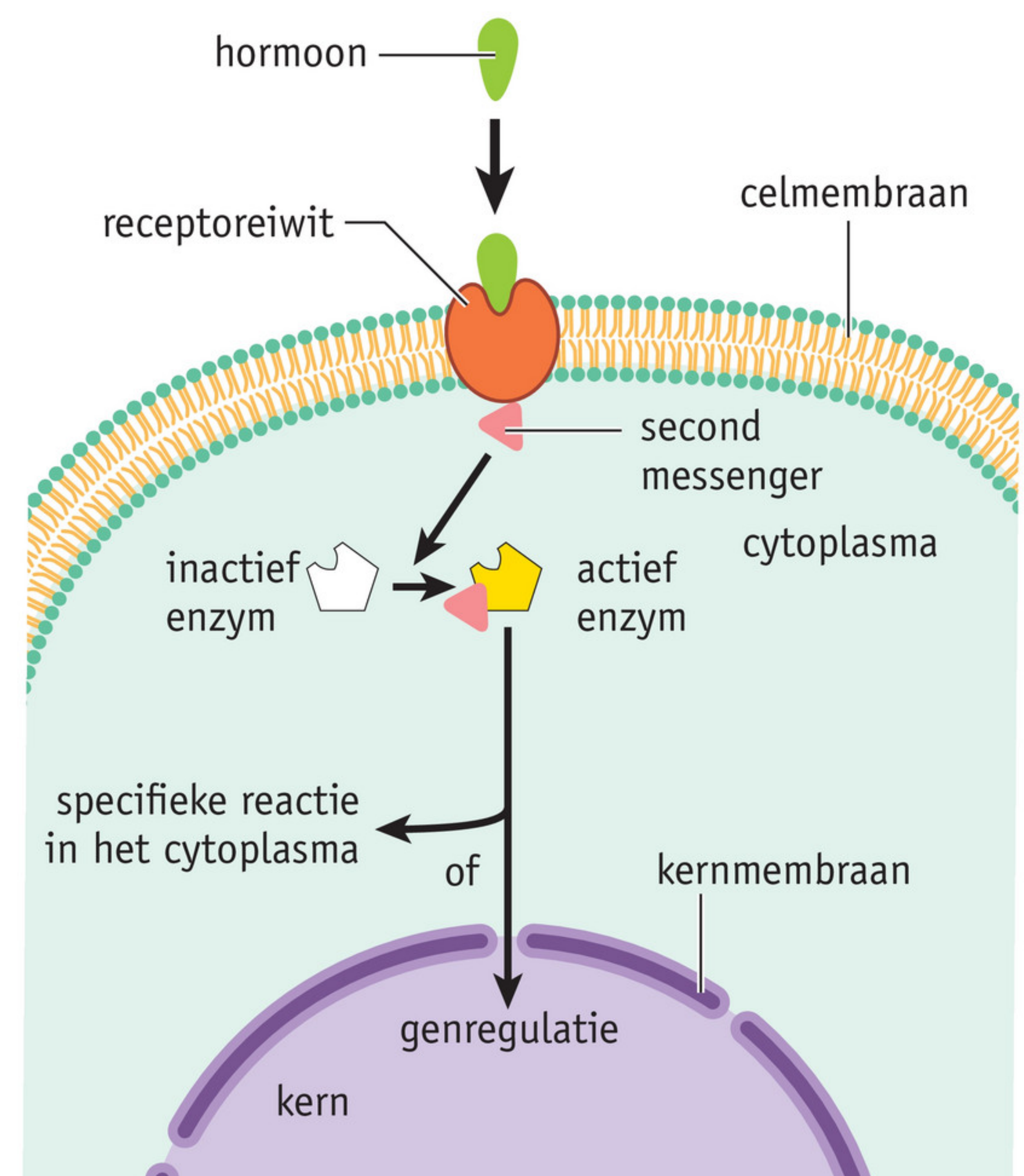
Andere hormonen binden aan een receptoreiwit op het celmembraan van de cellen van een doelwitorgaan (zie afbeelding 5.2). Aan de binnenzijde van het celmembraan wordt dan een bepaald signaalmolecuul gevormd of geactiveerd: de **second messenger**. De second messenger geeft het signaal in de cel door. Zo kan hij bijvoorbeeld een enzym activeren. Het geactiveerde enzym kan het signaal doorgeven aan een volgend signaalmolecuul, een specifieke reactie op gang brengen in het cytoplasma of aanzetten tot genregulatie. Hierover leer je meer in thema 4. Sommige hormonen die wel de cel in kunnen, zoals adrenaline, oefenen ook hun invloed uit via second messengers.

Het signaal van een hormoon dat bindt aan een receptor op het celmembraan, kan in de cel worden versterkt. Door het signaal binnen de cel door te geven van molecuul naar molecuul, worden veel signaalmoleculen geactiveerd of grote hoeveelheden signaalmoleculen geproduceerd. Hierdoor kan een enkel signaal van buiten de cel (extracellulair) een enorme reactie binnen de cel (intracellulair) opwekken. Wanneer een signaal via meerdere schakels in de cel wordt doorgegeven, spreek je van een **signaalcascade** of kortweg **cascade**.

▼ Afb. 5 Het hormoon-receptorcomplex.



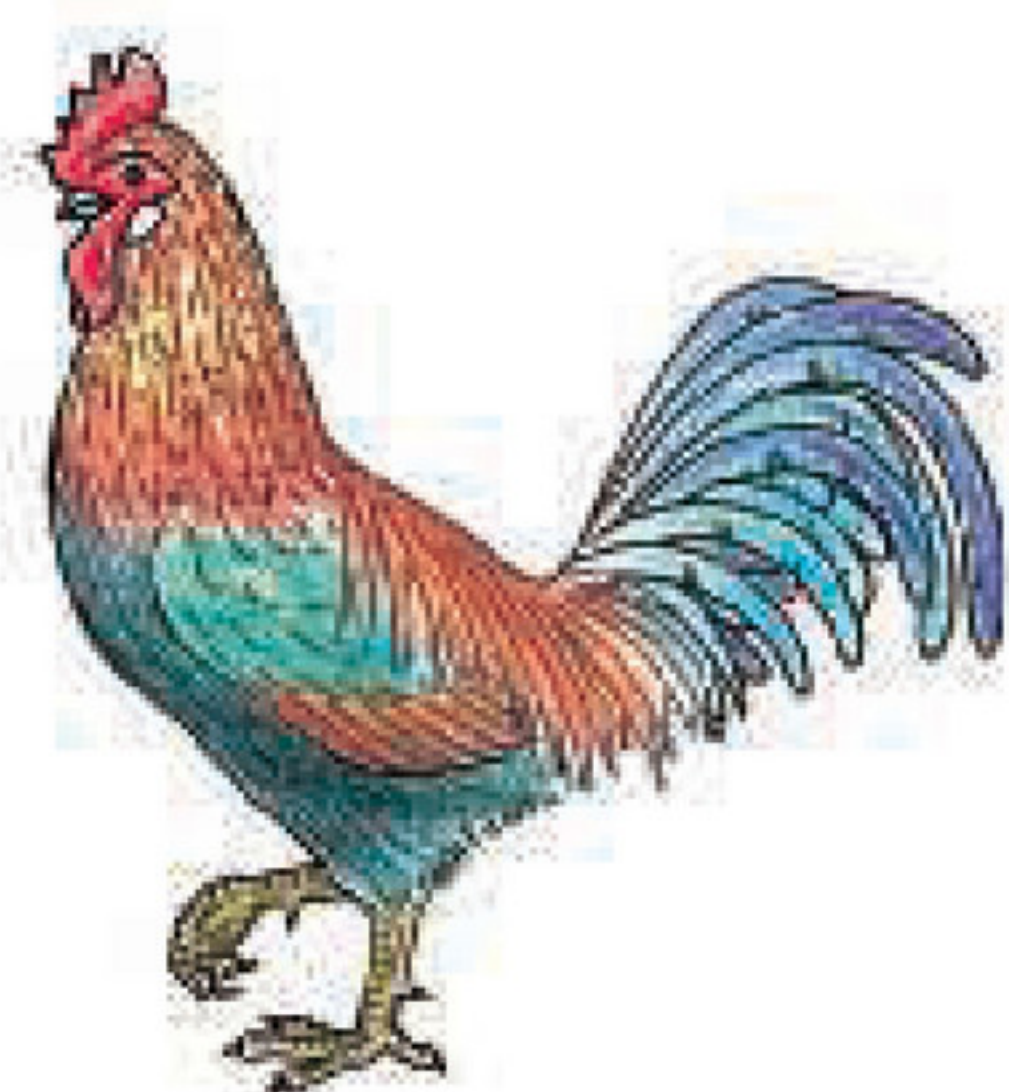
1 de werking van een hormoon dat via het celmembraan de cel binnengaat



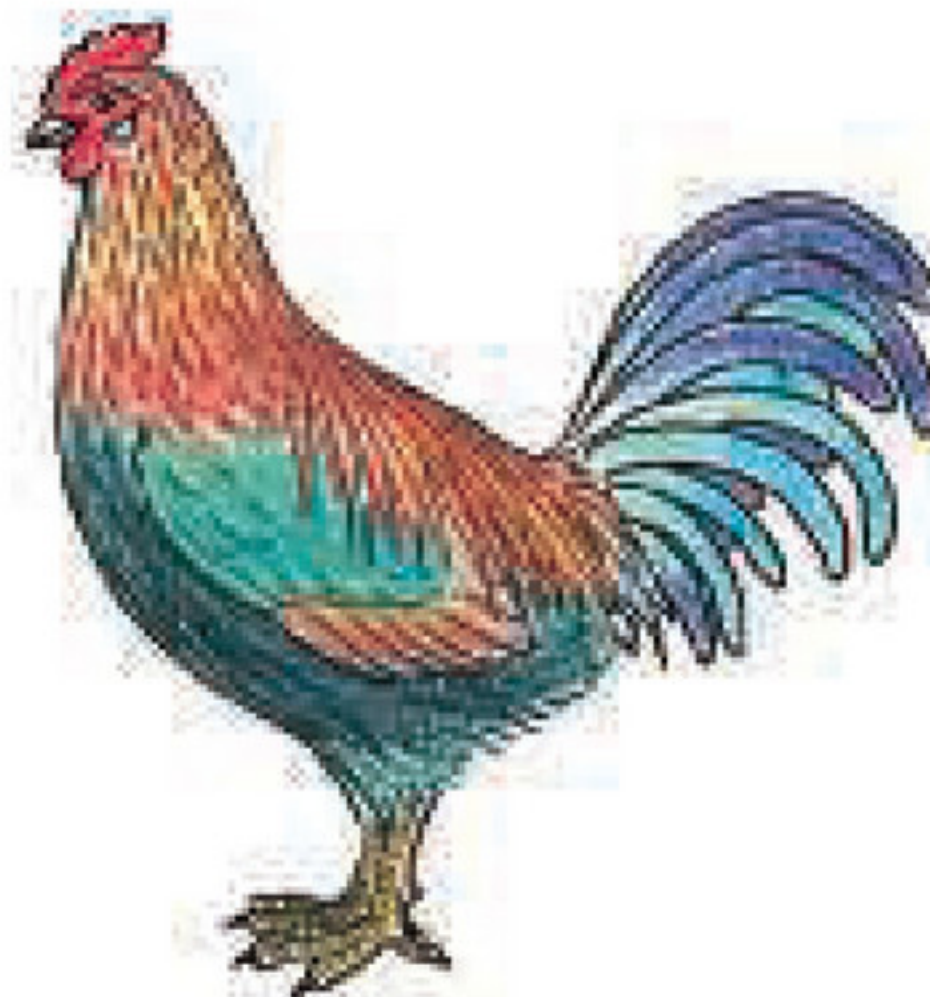
2 de werking van een hormoon dat bindt aan een receptoreiwit in het celmembraan

opdrachten

- 5 a Bij communicatie met hormonen kan het even duren voordat de doelwitorganen zijn bereikt. Leg dat uit.
b Waarvan is de mate van reactie van een doelwitorgaan afhankelijk?
- 6 In de lever worden hormonen afgebroken.
Leg uit dat deze afbraak noodzakelijk is om een goede regeling van processen mogelijk te maken.
- 7 De werking van veel hormonen kan worden onderzocht door bij proefdieren hormoonklieren weg te nemen. Na het verwijderen van de testes (castreren) bij jonge haantjes bleek dat zich een aantal secundaire geslachtskenmerken bij deze dieren minder ontwikkelden (zie afbeelding 6). De haantjes kregen onder andere een veel kleinere kam en kleinere sporen aan hun poten dan normaal. Bovendien vertoonden ze een ander, minder 'hanig' gedrag. Als je bij zo'n haantje een testis onder de huid op een goed doorbloede plaats inplant, ontwikkelen de secundaire geslachtskenmerken zich normaal. Dit gebeurt ook als je een haantje inspuit met een vloeistof die is verkregen door het fijnwrijven van een testis.
- a Welke conclusie kun je trekken uit de proeven met gecastreerde hanen?
b Als een onderzoeker een gelabeld (radioactief gemerkt) hormoon bij een proefdier inspuit, blijkt na enige tijd dat dit hormoon niet homogeen over het lichaam van het proefdier is verdeeld. De hormonen komen in bepaalde organen in relatief hoge concentraties voor.
Welke conclusie kun je hieruit trekken?

▼ **Afb. 6** Proef met gecastreerde hanen.

1 een haan



2 een haan na het verwijderen van de testes



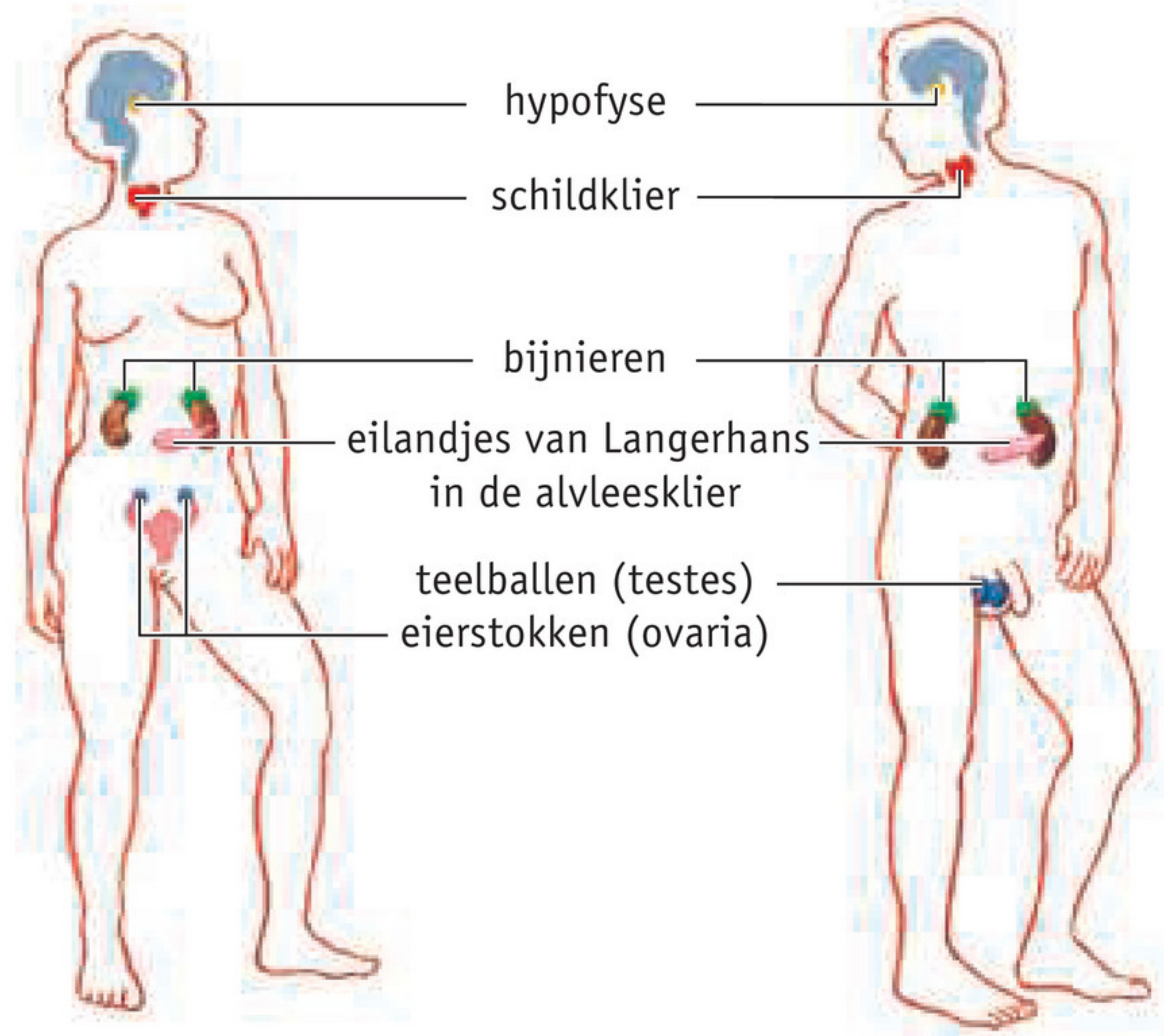
3 een hen

- 8 In de eierstok van een vrouw rijpt maandelijks een follikel onder invloed van follikelstimulerend hormoon (FSH). Door de invloed van FSH beginnen meerdere follikels te rijpen. De follikel met de meeste hormoonreceptoren bereikt een voorsprong op de andere. In deze follikel ontstaan in korte tijd nog meer hormoonreceptoren waaraan hormonen kunnen binden.
- a Is dit een voorbeeld van negatieve of van positieve terugkoppeling? Leg je antwoord uit.
b Hoe kunnen door invloed van hormonen de cellen van een rijpende follikel nieuwe receptoren vormen?
- 9 Een voorbeeld van een oestrogeen hormoon is oestradiol. Dit hormoon hecht aan een receptor in het cytoplasma van de cel.
Noem een kenmerk van het oestradiolmolecuul waardoor het ongehinderd het celmembraan kan passeren. Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 67K en 89B).

HORMOONKLIEREN

Het **hormoonstelsel** bestaat uit een aantal hormoonklieren. In afbeelding 7 is de ligging van enkele belangrijke hormoonklieren aangegeven.

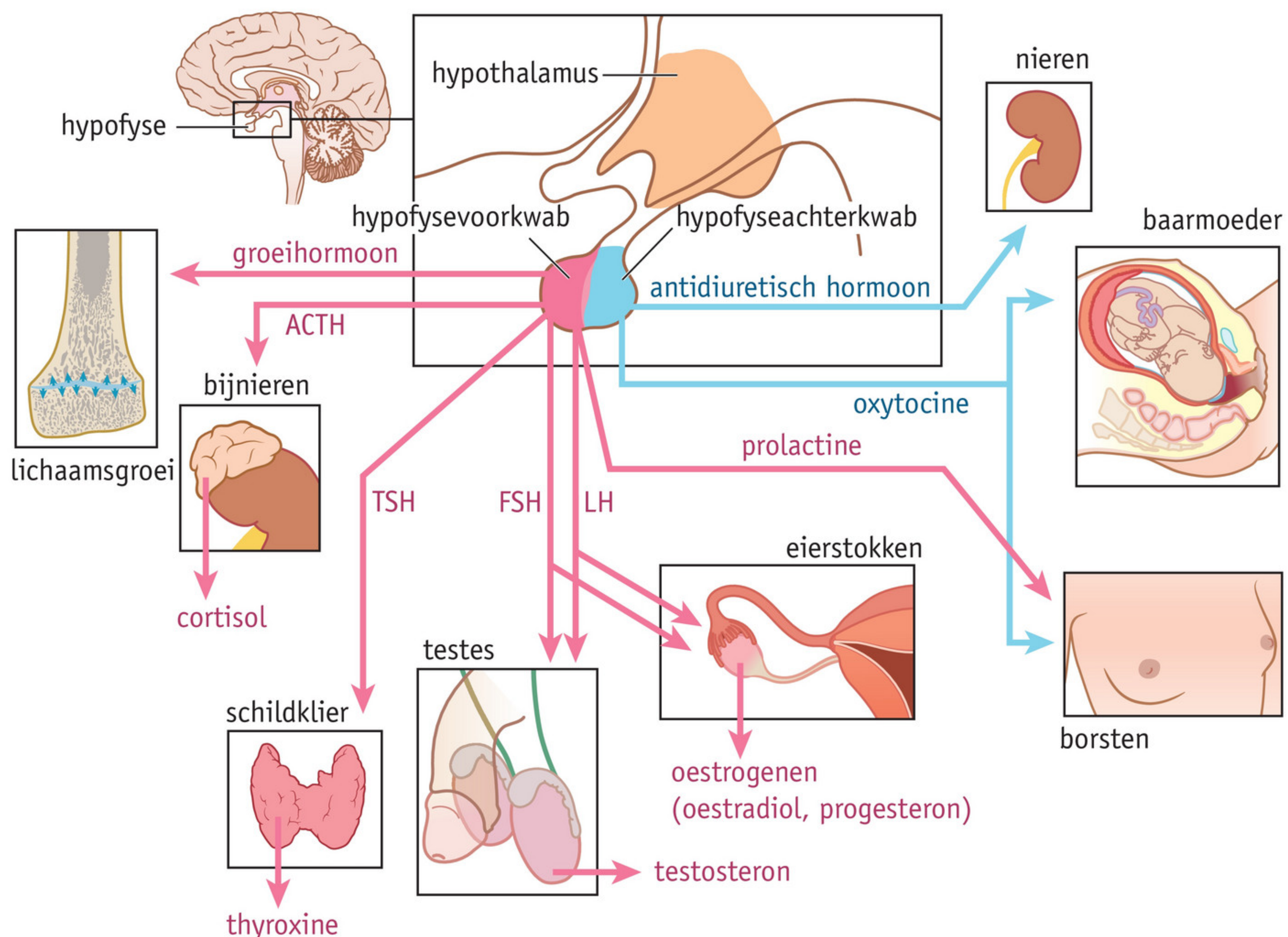
► **Afb. 7** De ligging van enkele hormoonklieren.



HYPOFYSE

De **hypofyse** ligt ongeveer in het midden van je hoofd onder je hersenen. Het gedeelte van de hersenen dat net boven de hypofyse ligt, is de **hypothalamus**. De hypofyse bestaat uit de hypofysevoorkwab en de hypofyseachterkwab. De hypofyse produceert verschillende hormonen. Sommige daarvan, zoals thyroïdstimulerend hormoon (TSH), follikelstimulerend hormoon (FSH) en luteïniserend hormoon (LH), beïnvloeden de werking van andere hormoonklieren (zie afbeelding 8).

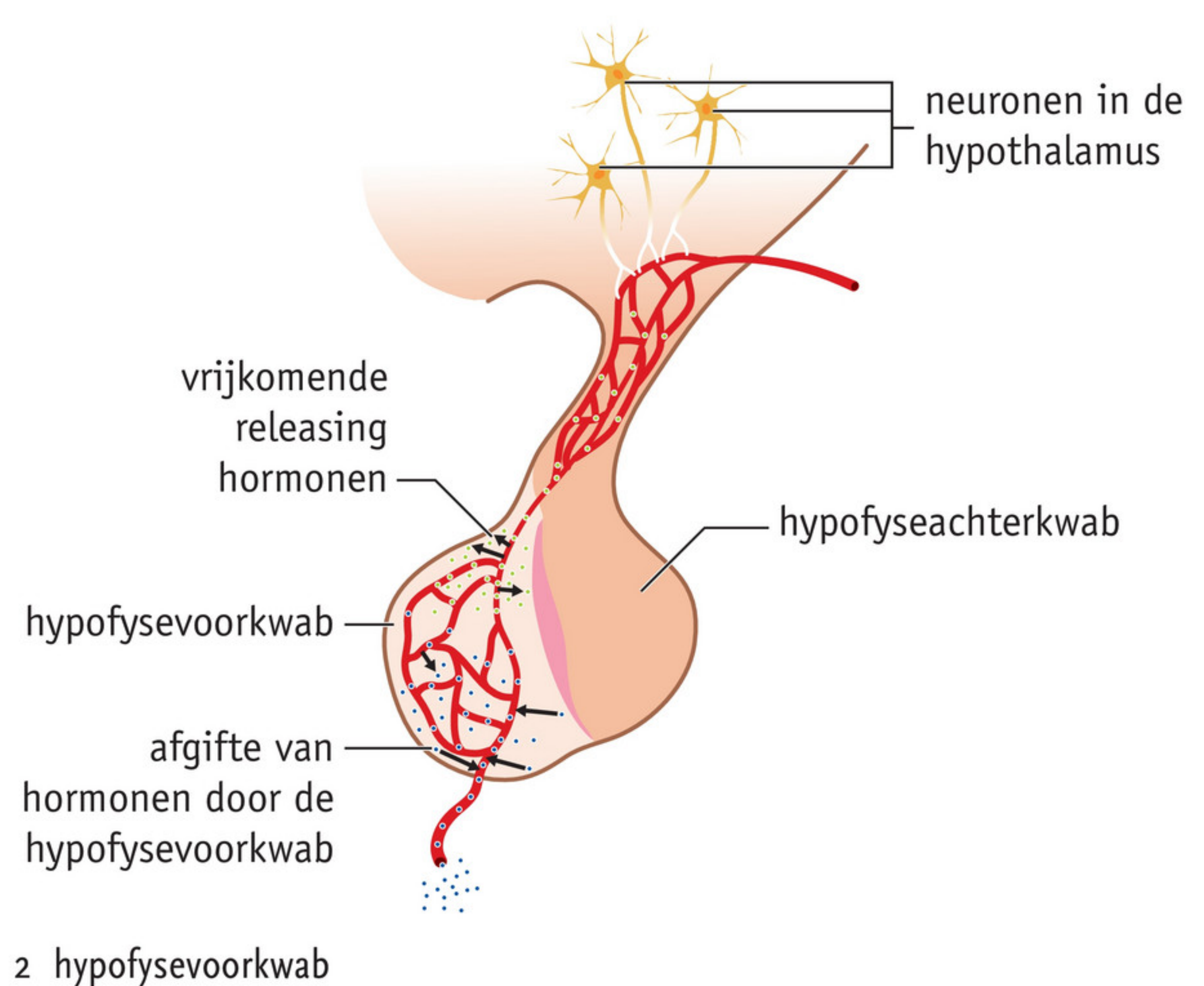
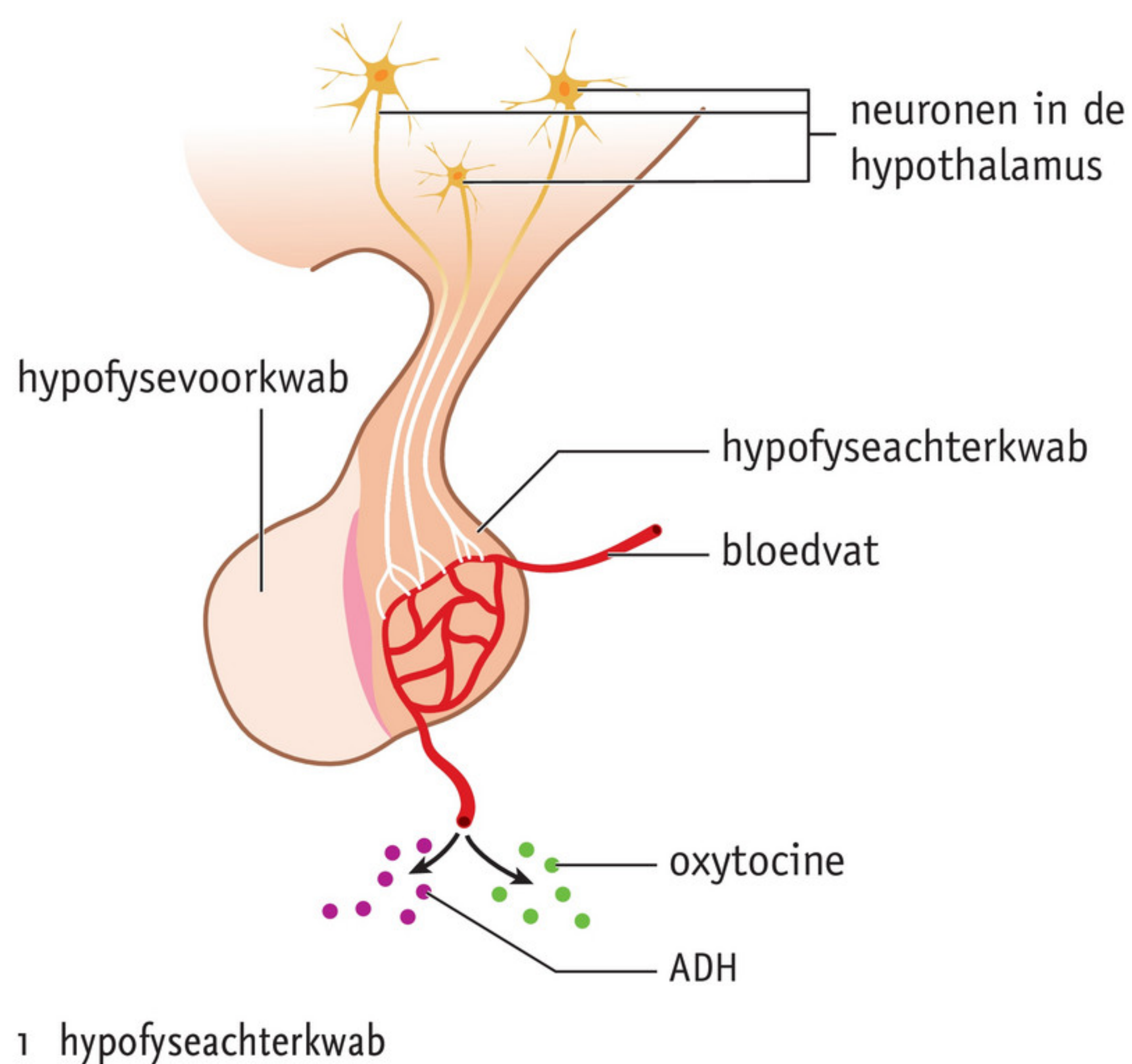
▼ **Afb. 8** De ligging van de hypothalamus en de hypofyse en hormonen uit de hypofyse met hun doelwitorganen.



Via de hypothalamus en de hypofyse zijn het zenuwstelsel en het hormoonstelsel met elkaar verbonden. Sommige neuronen (zenuwcellen) in de hypothalamus produceren hormonen. Wanneer hormonen door neuronen worden gevormd, spreek je van **neurosecretie**. De gevormde hormonen heten **neurohormonen**. Oxytocine en antidiuretisch hormoon (ADH) zijn neurohormonen die via de vertakkingen (uitlopers) van neuronen naar de hypofyseachterkwab worden getransporteerd (zie afbeelding 9.1). Ze worden van daaruit afgegeven aan het bloed.

Ook geven neuronen in de hypothalamus twee typen neurohormonen af die de endocriene cellen in de hypofysevoorkwab beïnvloeden: inhibiting hormonen en releasing hormonen. **Inhibiting hormonen (IH)** zorgen ervoor dat de endocriene cellen in de hypofysevoorkwab geen hormonen (groeihormoon en prolactine) meer produceren. **Releasing hormonen (RH)** stimuleren de endocriene cellen in de hypofysevoorkwab juist om bepaalde hormonen (TSH, FSH, LH, groeihormoon, prolactine en adrenocorticotroop hormoon) te produceren. Inhibiting en releasing hormonen worden afgegeven aan haarvaten en komen via het bloed in de hypofysevoorkwab terecht (zie afbeelding 9.2). Daar stimuleren ze de productie en afgifte van hypofysehormonen. Zo stimuleert TSH releasing factor (TRF) uit de hypothalamus de vorming en afgifte van TSH door de hypofysevoorkwab. TSH beïnvloedt de schildklier.

▼ **Afb. 9** Regulatie en afgifte van hormonen door de hypofyse.



▼ **Afb. 10** Dwerggroei en reuzengroei.



HYPOFYSEHORMONEN

Adrenocorticotroop hormoon (ACTH) uit de hypofysevoorkwab wordt onder andere geproduceerd bij stress. Het bevordert de aanmaak van hormonen door de bijnierschors.

Groeihormoon (GH) regelt de groei en ontwikkeling. In de puberteit stimuleert het groeihormoon de groei van beenderen. Als de hypofyse te veel groeihormoon produceert, kan dat reuzengroei veroorzaken. Produceert de hypofyse te weinig groeihormoon, dan kan dwerggroei ontstaan (zie afbeelding 10).

Sommige hormonen uit de hypofyse spelen een belangrijke rol bij de voortplanting. FSH en LH uit de hypofysevoorkwab beïnvloeden de ovaria en testes. **Prolactine** speelt een rol bij het vergroten van de melkklieren. Het stimuleert ook de productie van melk door de melkklieren in de borsten. Het vrijkomen van **oxytocine** uit de hypofyseachterkwab stimuleert het ontstaan van weeën aan het einde van de zwangerschap en tijdens de geboorte. Na de geboorte zorgt oxytocine bij het zogen voor de melksecretie uit de melkklieren in de borsten. Oxytocine is ook verantwoordelijk voor het ontstaan van een band tussen moeder en kind en tussen partners. Het wordt daarom ook wel het ‘hechtingshormoon’ genoemd. Het **antidiuretisch hormoon (ADH)** regelt de resorptie van water in de nieren bij de vorming van urine (diurese = urineproductie). Hierdoor kan de hoeveelheid water worden geregeld die de nieren via de urine uitscheiden. De osmotische waarde van het bloed blijft daardoor min of meer constant.

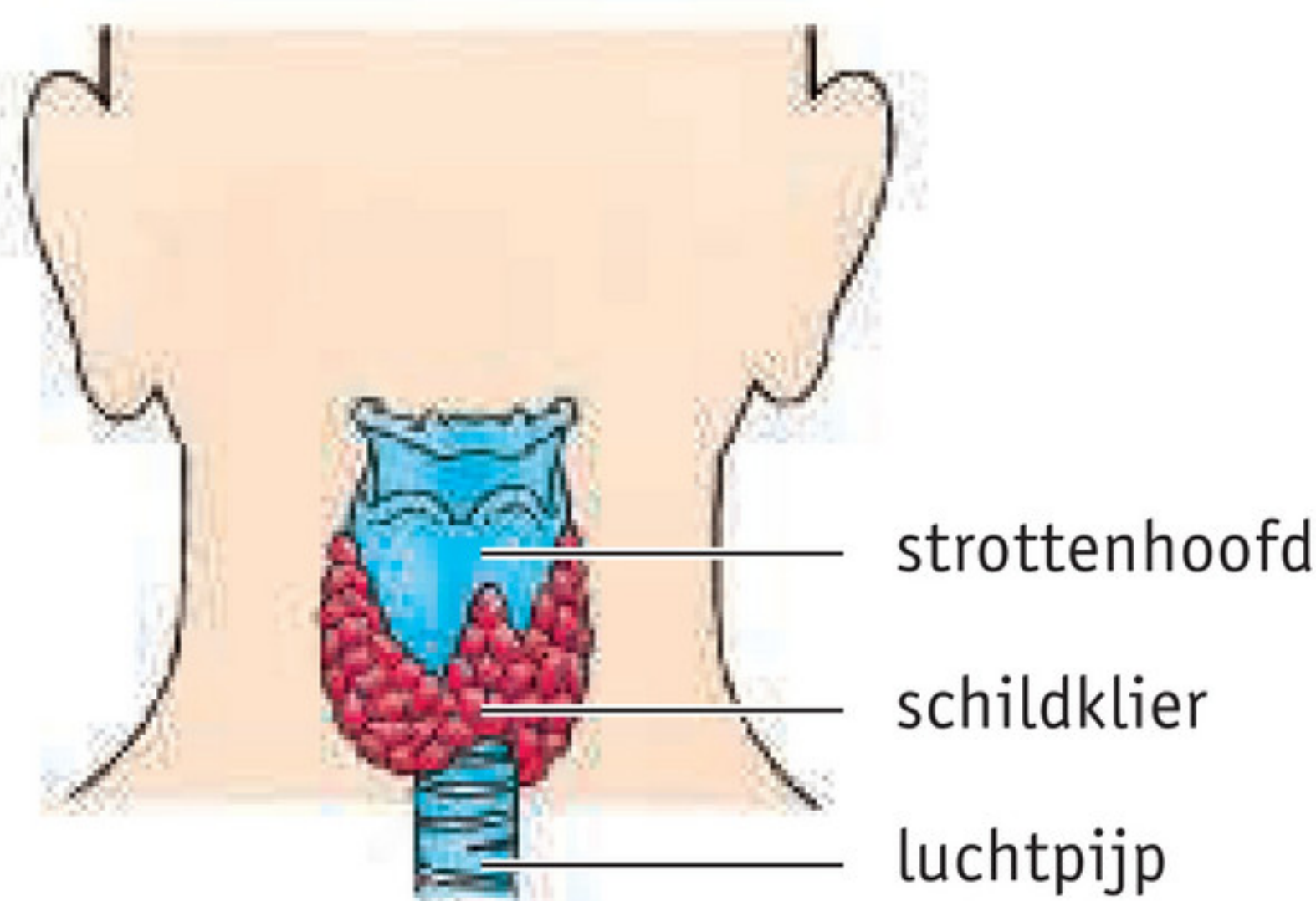
opdrachten

- 10 De hypofyse kun je het ‘regelcentrum’ van het hormoonstelsel noemen.
 - a Leg dit uit.
 - b De hypofyseachterkwab is eigenlijk een voortzetting van de hypothalamus. Leg dit uit.
- 11 Bij acromegalie (zie afbeelding 11) blijft de hypofyse van een persoon groeihormoon produceren. De oorzaak hiervan is meestal een goedaardig gezwel dat zich in de hypofyse heeft ontwikkeld. Een volwassen persoon heeft alleen groeihormoonreceptoren in de weefsels van zijn handen, voeten en gezicht.
Wat zijn de gevolgen van een te hoge productie van groeihormoon bij een volwassen persoon?
- 12 Het hormoon prolactine wordt tijdens de zwangerschap onderdrukt door progesteron uit de placenta. Na de bevalling stijgt de prolactinespiegel in het bloed van de moeder en komt de melkproductie op gang. Wanneer de baby drinkt aan de borst, prikkelt dit de gevoelige zenuwuiteinden in de tepel. De hersenen van de moeder krijgen dan een signaal om de prolactineafgifte te verhogen. Dit zorgt ervoor dat er voldoende melk voor de volgende voeding wordt gemaakt.
 - a De hypothalamus geeft een neurohormoon af dat de hypofysevoorkwab aanzet tot de productie van prolactine.
Hoe noem je dit type hormoon?
 - b Noteer van de regelkring, hypothalamus-hypofyse-melkklier, de sensor, het controlecentrum en de effector.
 - c Is de afgifte van prolactine een voorbeeld van negatieve of positieve terugkoppeling? Leg je antwoord uit.
 - d Wanneer de borst te lang vol blijft, neemt een bepaalde stof in de moedermelk toe. De hersenen krijgen dan het signaal om de afgifte van prolactine te verminderen.
Moeders kunnen het best stoppen met het geven van borstvoeding door het in een paar weken langzaam af te bouwen. Zo geeft een moeder haar baby steeds minder voedingen per dag.
Leg uit hoe dat de afgifte van prolactine en de productie van melk beïnvloedt.

▼ **Afb. 11** Een persoon met acromegalie.



▼ **Afb. 12** De ligging van de schildklier.



SCHILDKLIER

De **schildklier** ligt in de hals, voor het strottenhoofd, tegen de luchtpijp aan (zie afbeelding 12). De schildklier produceert onder andere **thyroxine** (of **schildklierhormoon**). Dit hormoon beïnvloedt de stofwisseling, vooral door de verbranding van glucose te stimuleren. Bij kinderen stimuleert thyroxine ook de groei en ontwikkeling van het beenderstelsel en de ontwikkeling van het centrale zenuwstelsel.

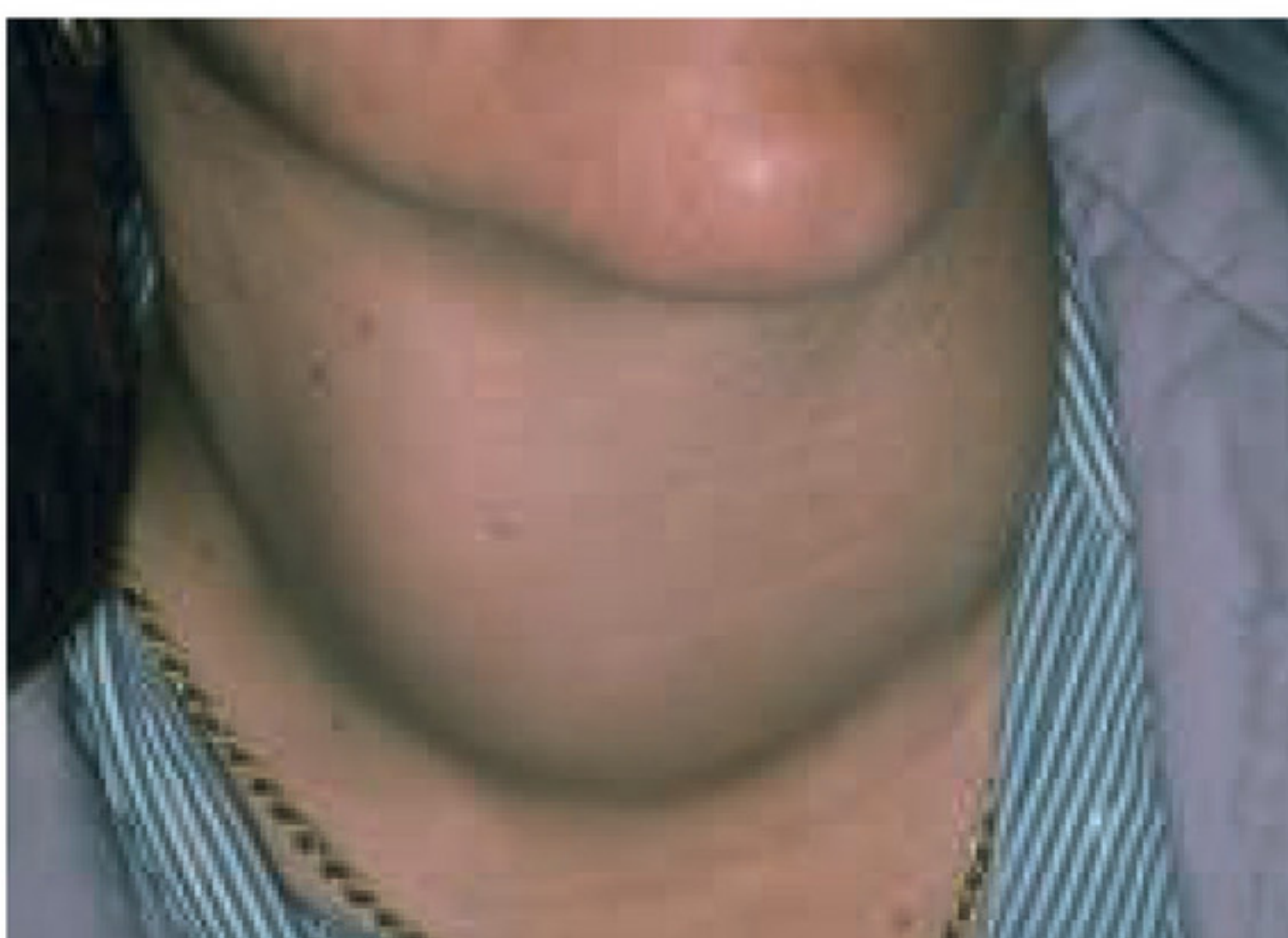
TSH uit de hypofyse stimuleert de vorming van schildklierweefsel, de opname van jodium door de schildkliercellen en de productie en secretie van thyroxine. Jodium is noodzakelijk voor de vorming van thyroxine. Thyroxine remt de productie en secretie van TSH.

Als de schildklier te veel thyroxine produceert, neemt de intensiteit van de stofwisseling toe. Dat kan onder meer leiden tot gewichtsverlies, toename van de eetlust en rusteloosheid. Als de schildklier te weinig thyroxine produceert, neemt de intensiteit van de stofwisseling af. Dat kan leiden tot gewichtstoename en vermoeidheid. Je krijgt het dan ook snel koud. Bij kinderen blijven dan de ontwikkeling van het centrale zenuwstelsel en de lichamelijke ontwikkeling achter. Een te lage productie van thyroxine vanaf de geboorte kan leiden tot dwerggroei. Deze vorm van dwerggroei gaat vaak gepaard met een beperkte geestelijke ontwikkeling.

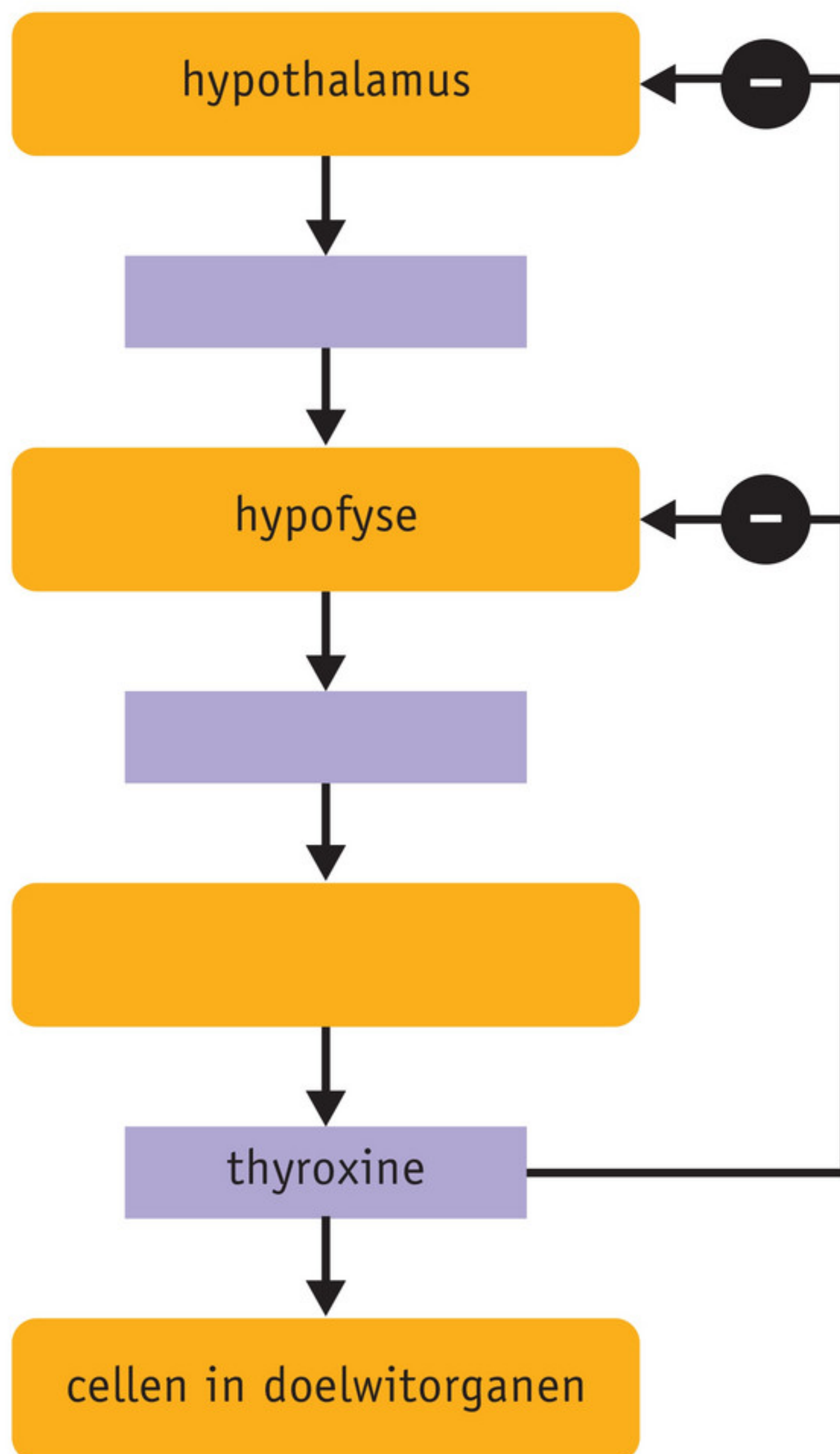
opdrachten

- 13 In de eerste week na de geboorte krijgen baby's in Nederland een hielprik. Het bloed wordt onderzocht op een aantal zeldzame ziekten. Een van deze ziekten is congenitale hypothyreoïdie (CHT of CH). Een kind met CHT maakt te weinig thyroxine aan doordat de schildklier afwezig is of doordat de schildklier niet goed werkt.
 - a Wat zijn de gevolgen voor een kind als CHT niet wordt behandeld?
 - b Welke stof kun je toedienen om CHT te behandelen?
 - c Waardoor verloopt de ontwikkeling van een baby met CHT vóór de geboorte normaal?
 - d Heeft een kind met CHT veel of weinig TSH in zijn bloed? Leg je antwoord uit.
- 14 Op advies van de Nederlandse Gezondheidsraad gebruiken de meeste bakkers in Nederland bakkerszout bij het bakken van brood. Dit is gewoon keukenzout waaraan een beetje jodium is toegevoegd.
 - a Leg uit waarom de Nederlandse Gezondheidsraad dit advies geeft.
 - b Een struma (krop) is een sterk vergrote schildklier bij een volwassene persoon (zie afbeelding 13). Dit kan het gevolg zijn van een te actieve schildklier, van een te weinig actieve schildklier of van een schildkliertumor. Vroeger werd een struma vaak veroorzaakt doordat er te weinig jodium in het voedsel zat. Hoe kan een struma ontstaan door een tekort aan jodium in het voedsel?
- 15 De TSH-productie kan toenemen als gevolg van een daling van de lichaamstemperatuur. Leg uit wat hiervan het nut is.

▼ **Afb. 13** Een struma.



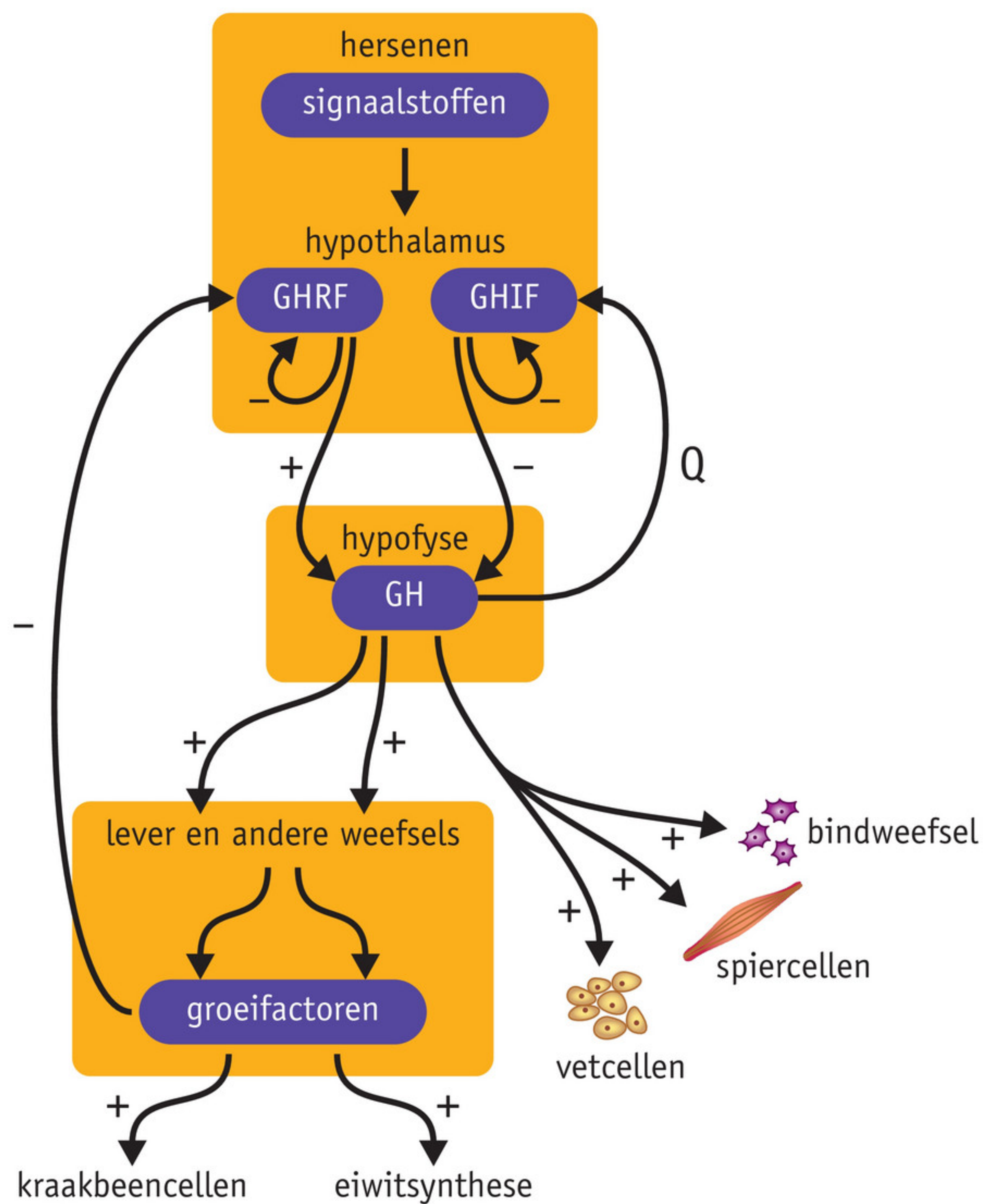
- ▼ **Afb. 14** Regeling van de thyroxineconcentratie in het bloed door negatieve terugkoppeling.



- 16 Afbeelding 14 is een schematische tekening van de regelkring van de thyroxineproductie. Daarbij treden terugkoppelingsmechanismen (feedback-mechanismen) op.

- a Neem het schema van afbeelding 14 over en vul de lege vakjes in.
 b Afbeelding 15 is een schematische weergave van de regeling van groei bij een mens met de terugkoppelingsmechanismen. Enkele bij het groeiproces betrokken hormonen zijn weergegeven. Een pijl is aangegeven met Q. Geeft pijl Q een remming of een stimulering aan of is dat niet te bepalen? Leg je antwoord uit.

- ▼ **Afb. 15** Regeling van de groei bij een mens door negatieve terugkoppeling.



Legenda:

GH = groeihormoon

GHRF = groeihormoon releasing factor (releasing hormoon)

GHIF = groeihormoon inhibiting factor (inhibiting hormoon)

+ = stimuleert

- = remt

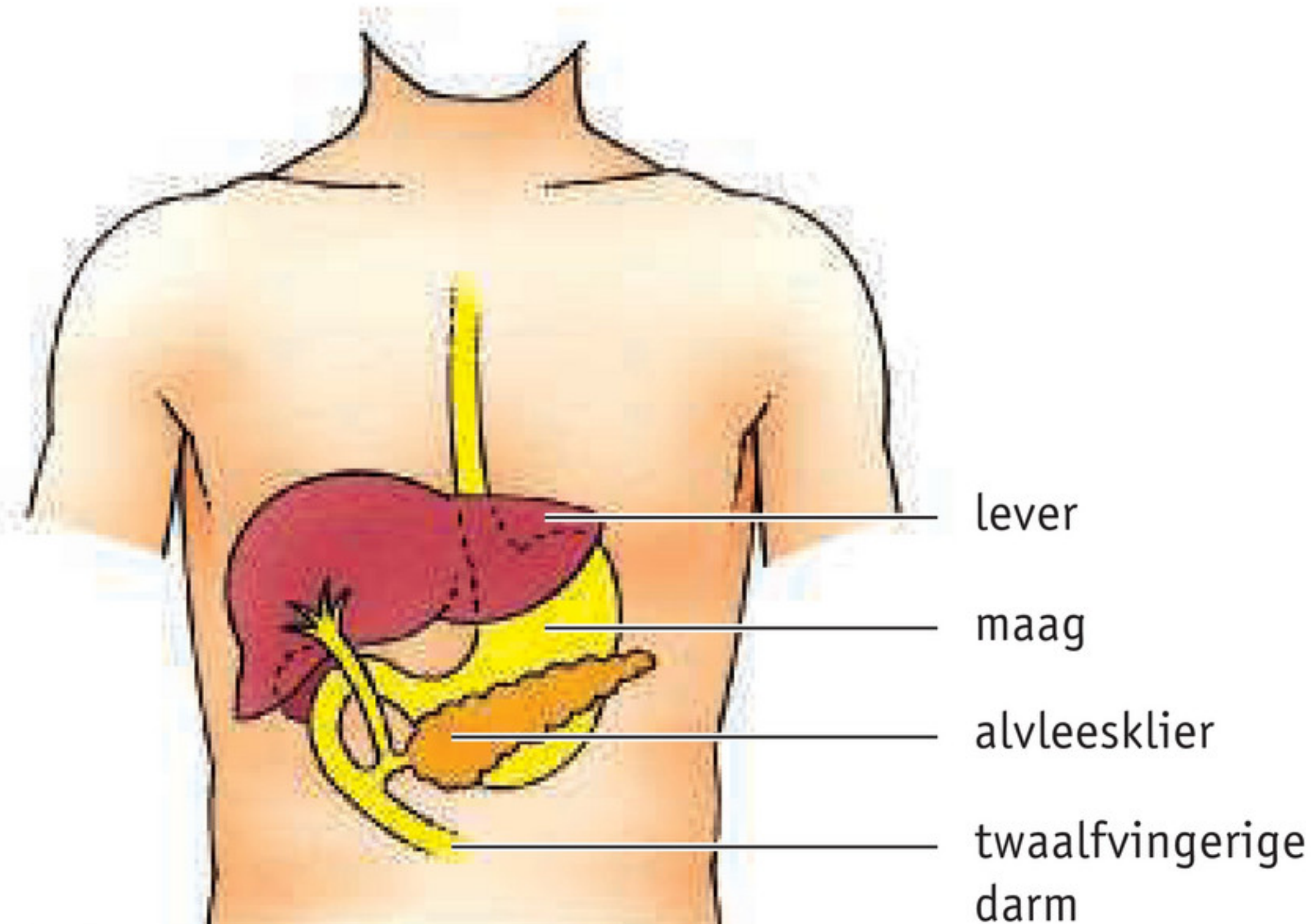
SPIJSVERTERINGSKLIEREN

Klierzellen in de alvleesklier en de maag- en darmwand produceren **spijsverteringshormonen** die de spijsvertering beïnvloeden. Gastrine uit de maagwand stimuleert de maagsapproductie als er voedsel in de maag komt. De wand van de twaalfvingerige darm produceert secretine. Dit hormoon stimuleert de lever tot het produceren van gal en de alvleesklier tot de secretie van natriumwaterstofcarbonaat (NaHCO_3). Hierdoor stijgt de pH (zuurgraad) in de twaalfvingerige darm. Cholecystokinine wordt afgegeven door de twaalfvingerige darm en stimuleert de galblaas tot de afgifte van gal en de alvleesklier tot de secretie van enzymen.

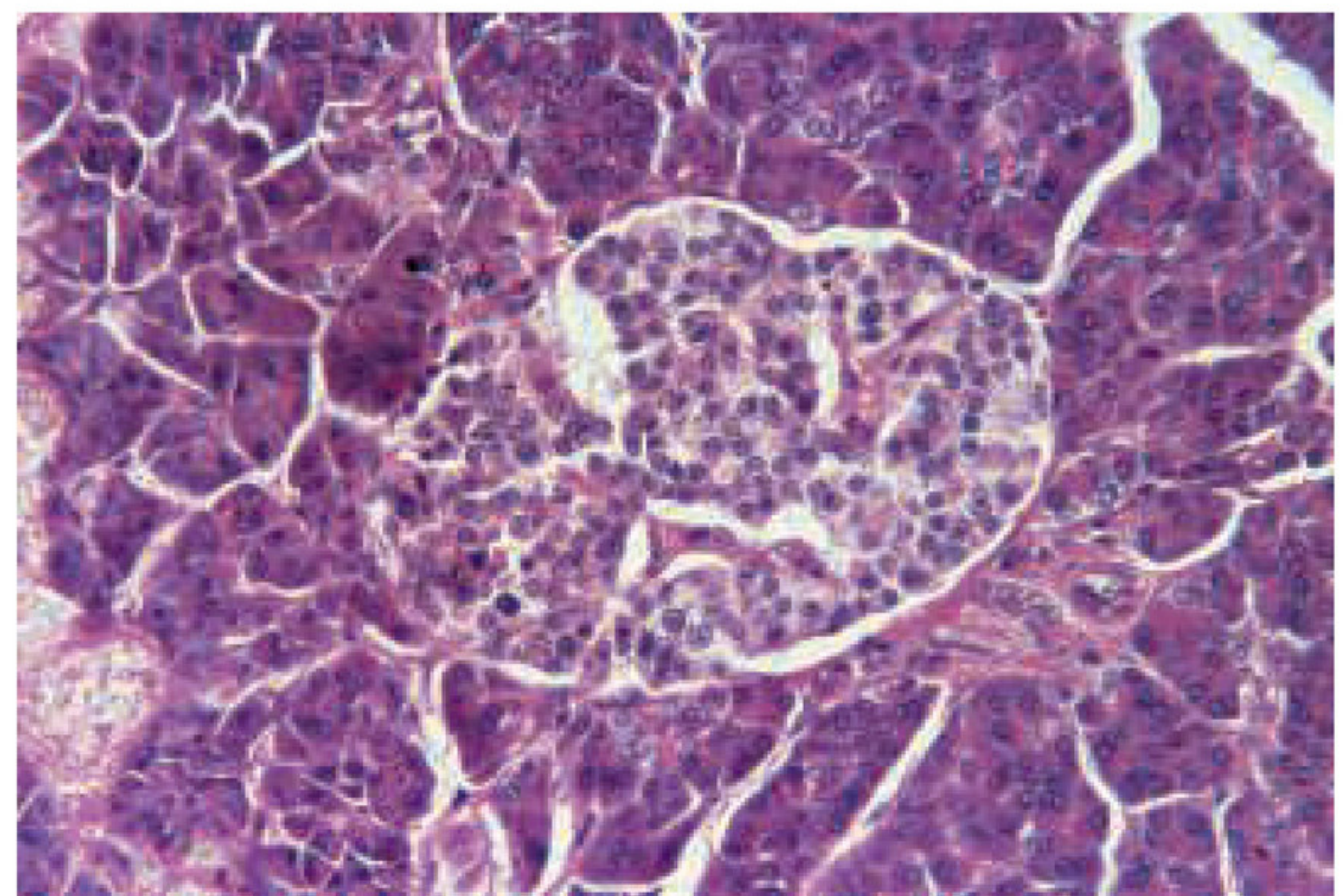
EILANDJES VAN LANGERHANS

De alvleesklier heeft als verteringsklier een exocriene functie. De alvleesklier produceert een spijsverteringssap dat wordt afgegeven aan de twaalfvingerige darm (zie afbeelding 16.1). Verspreid tussen de cellen van de alvleesklier liggen groepjes cellen met een endocriene functie: de **eilandjes van Langerhans** (zie afbeelding 16.2). Hierin komen α -cellen voor die het hormoon **glucagon** produceren en β -cellen die het hormoon **insuline** produceren. Deze hormonen zorgen ervoor dat de glucoseconcentratie in het bloed min of meer constant blijft.

▼ Afb. 16 De alvleesklier.



1 de ligging van de alvleesklier



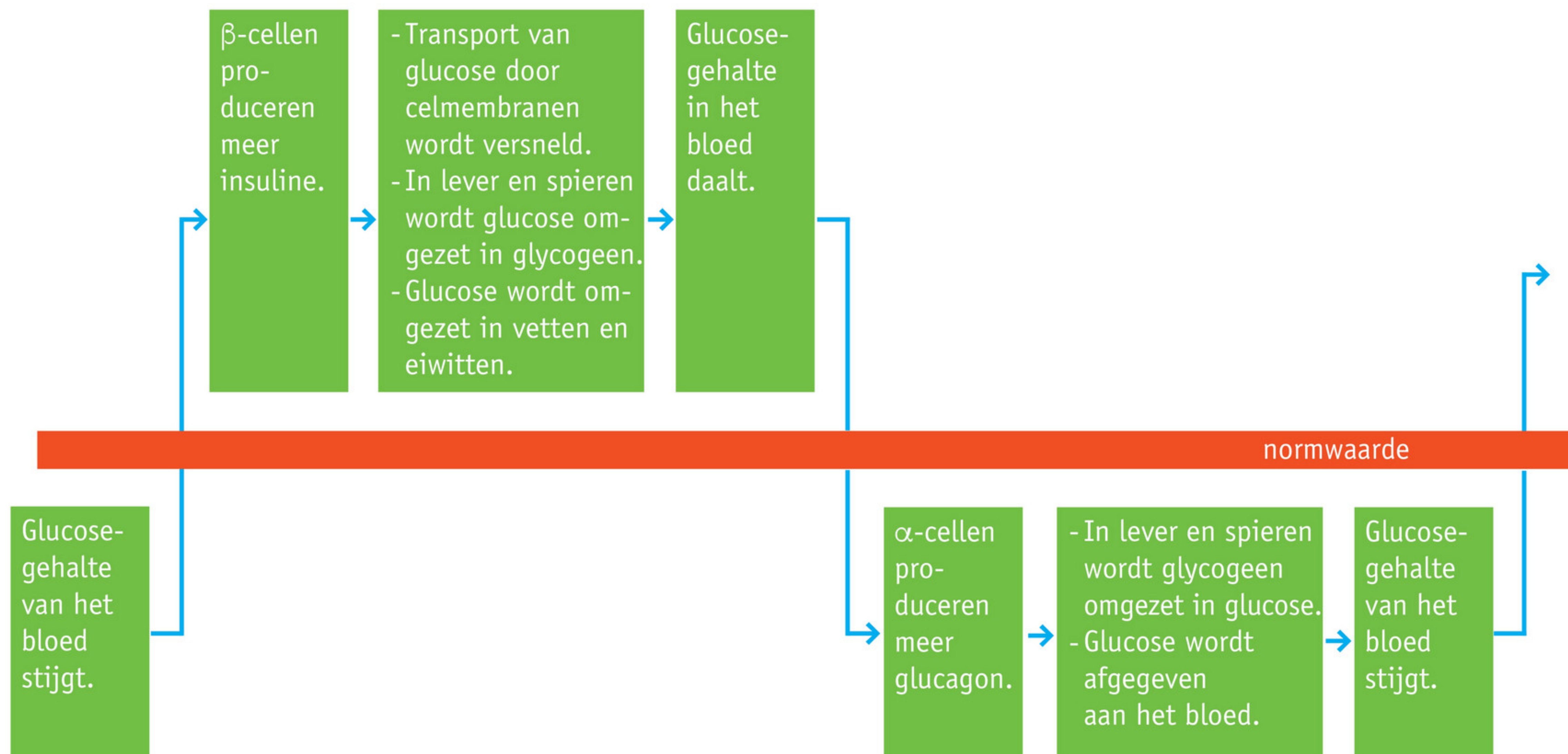
2 een eilandje van Langerhans (vergroting 500x)

De glucoseconcentratie in het bloed noem je ook wel de **bloedsuikerspiegel**. De glucoseconcentratie wordt bij een gezonde persoon gehandhaafd tussen de 4,0 en de 8,0 mmol/L. De normwaarde is 5,0 mmol/L (0,9 g/L).

In je voedsel komen vrijwel altijd koolhydraten voor. Koolhydraten worden in het darmkanaal verteerd, vooral tot glucose. Glucose wordt in de dunne darm opgenomen in het bloed. De glucoseconcentratie in het bloed zal daardoor boven de normwaarde van 5,0 mmol/L stijgen. β -cellen in de eilandjes van Langerhans gaan dan meer insuline produceren. Onder invloed van insuline komen er meer glucosetransporteiwitten in het celmembraan. Hierdoor wordt de permeabiliteit (doorlaatbaarheid) van celmembranen voor glucose verhoogd en neemt het transport van glucose door het celmembraan toe. De cellen nemen meer glucose op uit het bloed. Cellen in de lever en in spieren zetten de glucose om in glycogeen. Glycogeen wordt in deze cellen opgeslagen. De glucoseconcentratie in het bloed zal hierdoor dalen. Insuline stimuleert ook de omzetting van glucose in vetten en eiwitten.

▼ **Afb. 17** Regulatie van het glucosegehalte in het bloed.

Als je een tijdje niet hebt gegeten, kan de glucoseconcentratie in je bloed beneden de normwaarde van 5,0 mmol/L zakken. De α -cellen in de eilandjes van Langerhans produceren dan glucagon. Dit stimuleert in de lever en in spieren de omzetting van glycogeen in glucose en bevordert de afgifte van glucose aan het bloed (zie afbeelding 17). Doordat glucose wordt afgegeven aan het bloed, stijgt de glucoseconcentratie in het bloed.



NIEREN EN BIJNIEREN

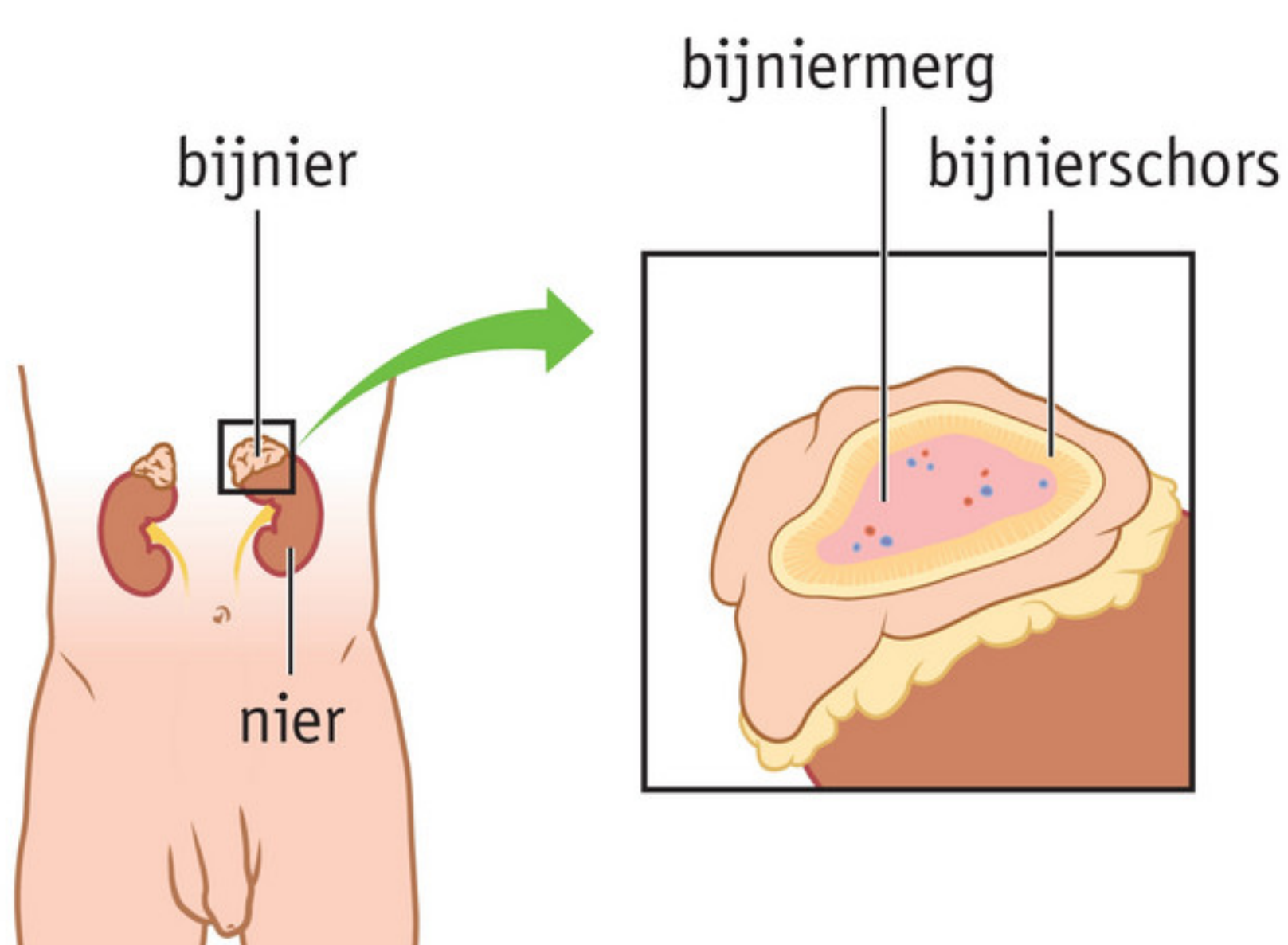
De nieren produceren het hormoon **epo (erytropoëetine)** wanneer ze onvoldoende zuurstof krijgen aangevoerd. Dit hormoon stimuleert de productie van rode bloedcellen in het rode beenmerg. Het bloed wordt hierdoor stroperiger. Dat betekent dat het gehalte rode bloedcellen in het bloed stijgt. Als de zuurstofvoorziening van de nieren hierdoor weer is toegenomen tot de normwaarde, wordt de productie van epo geremd.

De bijnieren liggen als kapjes boven op de nieren. Een bijnier bestaat uit **bijnierschors** en **bijniermerg** (zie afbeelding 18). Bij een stressreactie produceert het bijniermerg **adrenaline**. Adrenaline is een hormoon met een snelle, kortdurende werking en bevordert de stofwisseling. Onder invloed van adrenaline zetten cellen in de lever en in spieren glycogeen om in glucose. Hierdoor stijgt de glucoseconcentratie in het bloed, nemen de hartslag- en ademhalingsfrequentie toe en verwijden de bloedvaten naar de spieren en de hersenen zich.

Organen die niet belangrijk zijn voor een snelle reactie worden geremd, zoals de organen van het verteringsstelsel. Zo stelt adrenaline het lichaam in staat om in stressvolle situaties alert te zijn en snel te kunnen handelen. Bijvoorbeeld wanneer je woedend of angstig bent, wanneer je ergens enorm van schrikt of wanneer je situaties als belastend ervaart.

De bijnierschors wordt door ACTH gestimuleerd om onder andere **cortisol** te produceren. Cortisol komt vrij bij elke vorm van stress en wordt daarom ook wel het stresshormoon genoemd. Cortisol onderdrukt niet alleen de werking van het afweersysteem maar verhoogt ook, net als glucagon, de glucoseconcentratie in het bloed.

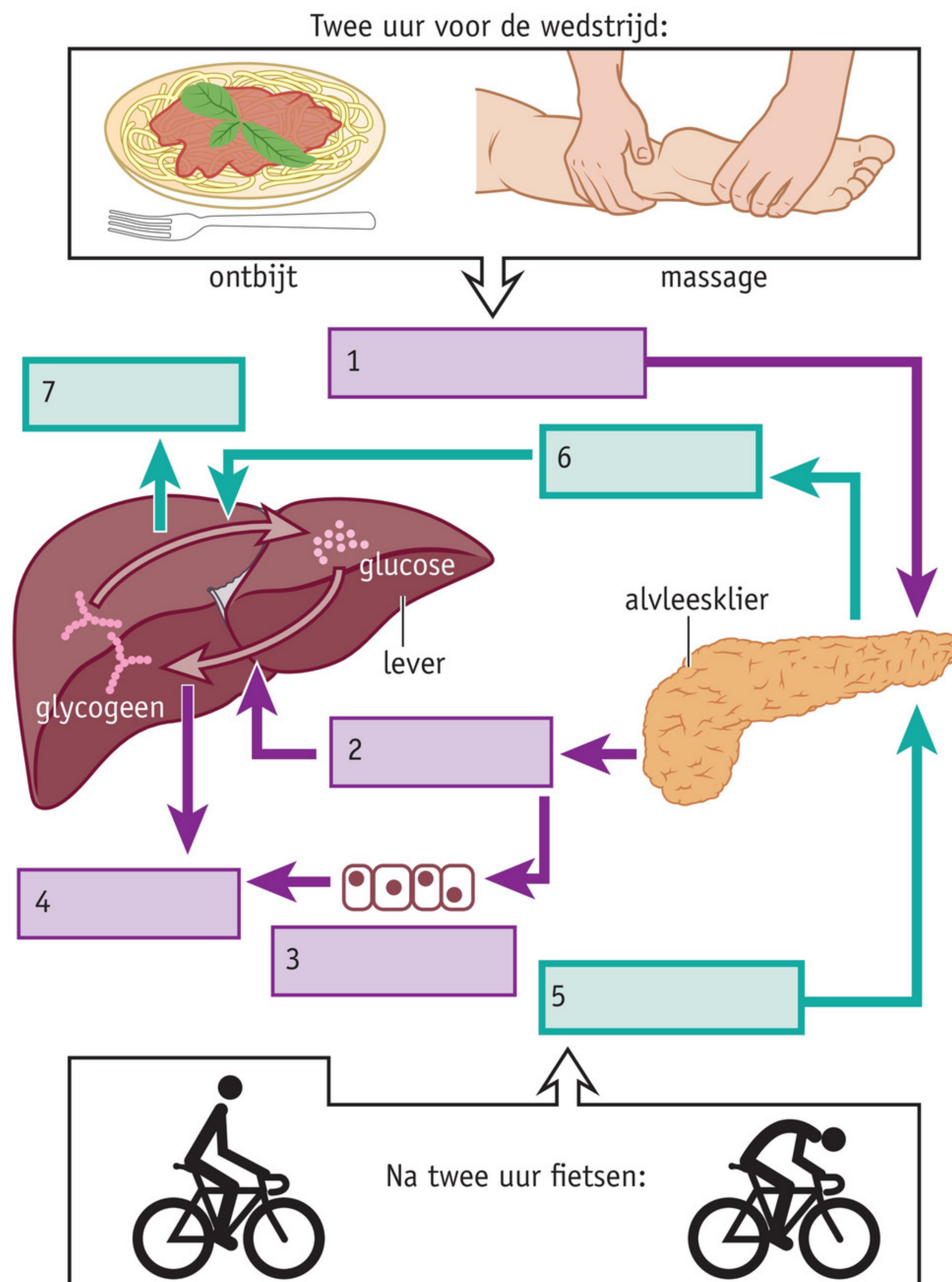
▼ **Afb. 18** De ligging van de bijnieren.



opdrachten

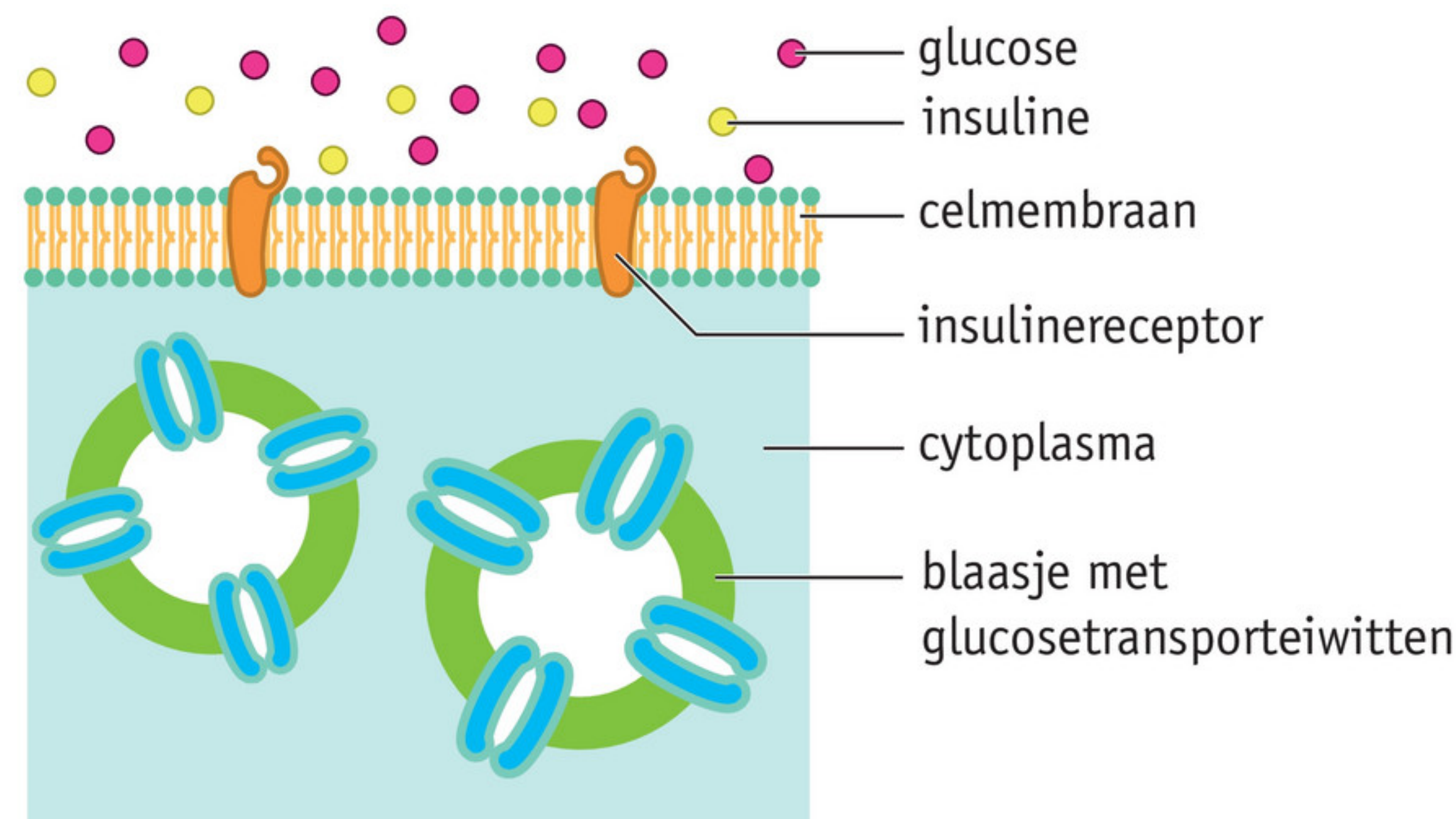
- 17 Het menu van een wielrenner die deelneemt aan de Tour de France is zorgvuldig samengesteld. Het bestaat voor ongeveer 70% uit voedingsmiddelen die veel koolhydraten bevatten zoals aardappelen, rijst, pasta, cornflakes, volkorenbrood, fruit en groenten. Een wielrenner begint zijn dag twee of drie uur voor de start van een wedstrijd met een uitgebreid koolhydraatrijk ontbijt, zoals een bord spaghetti. Dat is voor zo'n zware sportinspanning het meest ideaal. De wielrenner zal dan niet snel honger krijgen en zijn lichaam heeft voldoende tijd om het eten te verteren.
- Bevat je bloed na het eten van een bord spaghetti veel insuline of veel glucagon? Leg je antwoord uit.
 - Hoe zorgt insuline ervoor dat de glucoseconcentratie in het bloed na het eten van een bord spaghetti weer daalt tot de normwaarde?
 - Na twee uur fietsen daalt de bloedsuikerspiegel van de wielrenner. Bevat zijn bloed dan veel insuline of veel glucagon? Leg je antwoord uit.
 - Afbeelding 19 is een regelkring van de glucoseconcentratie in het bloed bij een wielrenner. Noteer de cijfers 1 tot en met 7 onder elkaar en noteer achter elk nummer het juiste onderdeel van de regelkring. Kies uit: *bloedsuikerspiegel daalt* – *bloedsuikerspiegel stijgt* – *glucagon* – *hoge glucoseconcentratie* – *insuline* – *lage glucoseconcentratie* – *stimuleert de cellen om meer glucose op te nemen*.

► **Afb. 19** De regelkring van de glucoseconcentratie in het bloed bij een wielrenner.

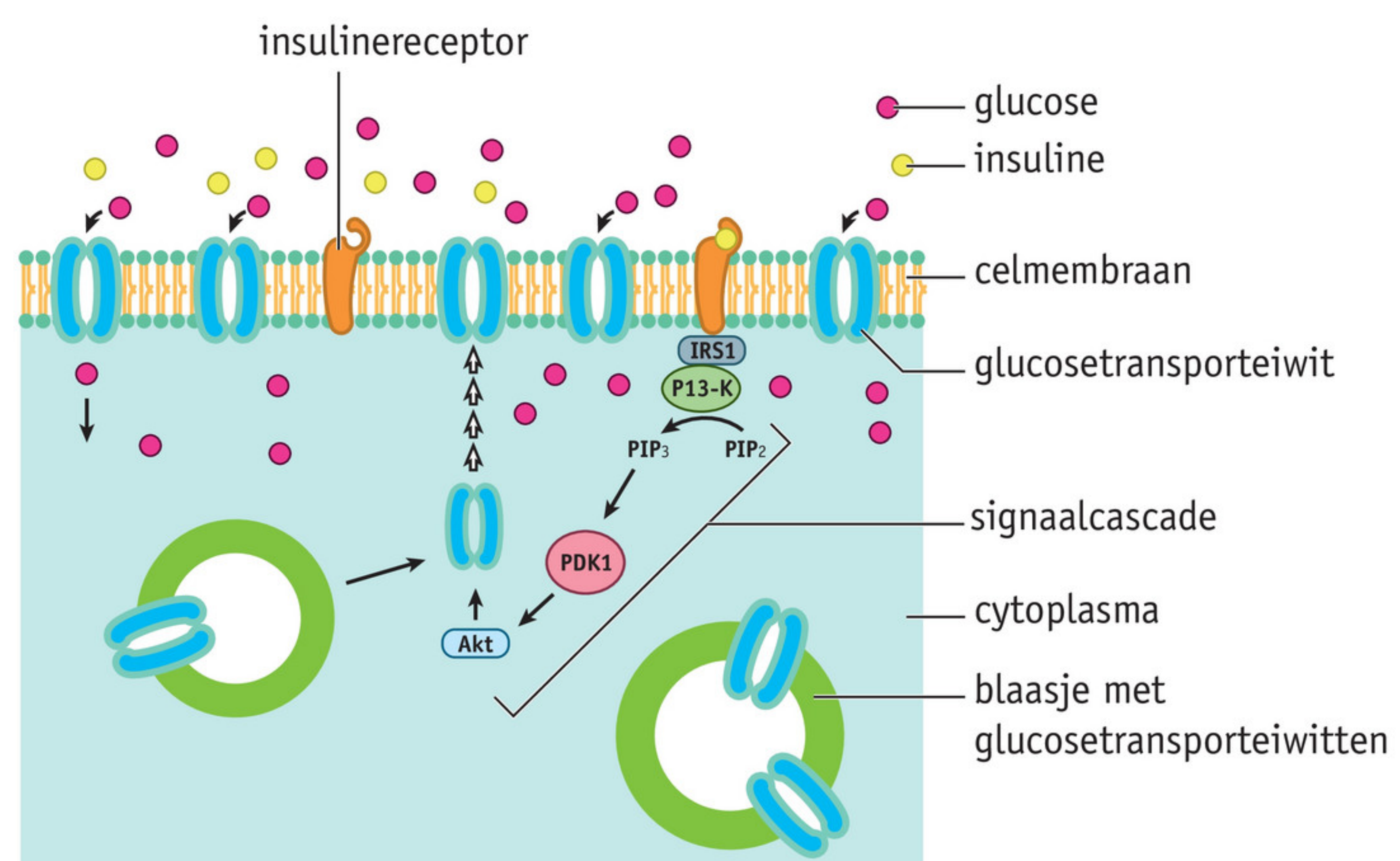


- 18** Adrenaline noem je in het Engels het 'fight-or-flight'-hormoon.
- Leg dat uit.
 - Hormonen reguleren geleidelijke veranderingen en de effecten houden vaak lang aan.
Geldt dit ook voor adrenaline? Leg je antwoord uit.
 - Wanneer je sport, komt adrenaline ook in verhoogde concentratie in je bloed voor.
Welk effect heeft adrenaline op je hartslagfrequentie, op je ademfrequentie en op je spijsvertering? Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 89A).
- 19** Prednison is een medicijn met dezelfde werking als cortisol. Het wordt voorgeschreven bij ziekten als astma, reuma, multiple sclerose, darmontsteking (bijvoorbeeld de ziekte van Crohn) en om afstoting na orgaantransplantaties te voorkomen.
Om welke eigenschap wordt prednison bij deze aandoeningen voorgeschreven? Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 89A).
- 20** Afbeelding 20 is een schematische tekening van de opname van glucose door een cel. Bij diabetes mellitus (suikerziekte) kunnen de lichaamscellen geen of minder glucose opnemen uit het bloed of uit de weefselvloeistof. Leg uit hoe het transport van glucose kan worden verstoord.

► **Afb. 20** De opname van glucose door een cel.



- 1 Er is geen insuline gebonden aan een insulinerceptor in het celmembraan. Glucose kan niet door de cel worden opgenomen.



- 2 Insuline bindt aan een receptor op het celmembraan, waardoor een signaalcascade op gang komt. Hierdoor worden glucosetransporteiwitten die zich in blaasjes in het cytoplasma bevonden, in het celmembraan opgenomen. Dit maakt het transport van glucose door het celmembraan mogelijk.

CONTEXT

Leefwereld

Diabetes mellitus

Lisa heeft altijd dorst en drinkt veel waardoor ze tijdens de lessen vaak naar het toilet moet. Ook is ze regelmatig moe en heeft ze last van blaasontstekingen. Als ze wazig gaat zien, besluit ze naar haar huisarts te gaan. De huisarts meet met een bloedglucosemeter de glucoseconcentratie in haar bloed en constateert dat Lisa diabetes mellitus (suikerziekte) heeft. Haar lichaam kan de normwaarde voor de glucoseconcentratie niet handhaven.

Er is sprake van diabetes mellitus wanneer bij een persoon die niets heeft gegeten of gedronken (nuchter) de glucoseconcentratie een waarde bereikt boven de 7,0 mmol/L. Bij een niet-nuchtere persoon is de bovengrens 11,0 mmol/L. Bij overschrijding van deze waarde wordt glucose met de urine uitgescheiden.

Er bestaan verschillende vormen van diabetes waarvan diabetes type 1 en diabetes type 2 het meest voorkomen. Bij diabetes type 1 produceert de patiënt geen insuline. Hij moet meerdere malen per dag de bloedsuikerspiegel controleren en insuline inspuiten. Een insulinepomp kan deze rol overnemen (zie afbeelding 21). Ongeveer 90% van de diabetespatiënten heeft diabetes type 2. Bij dit type produceert de patiënt te weinig insuline of bevinden zich in de celmembranen minder of onwerkzame insulinerceptoren waardoor de cellen te weinig glucose opnemen uit het bloed. Diabetes type 2 kun je behandelen met medicijnen maar uiteindelijk moeten veel patiënten met diabetes type 2 insuline gaan spuiten.

▼ **Afb. 21** Een insulinepomp.



opdracht

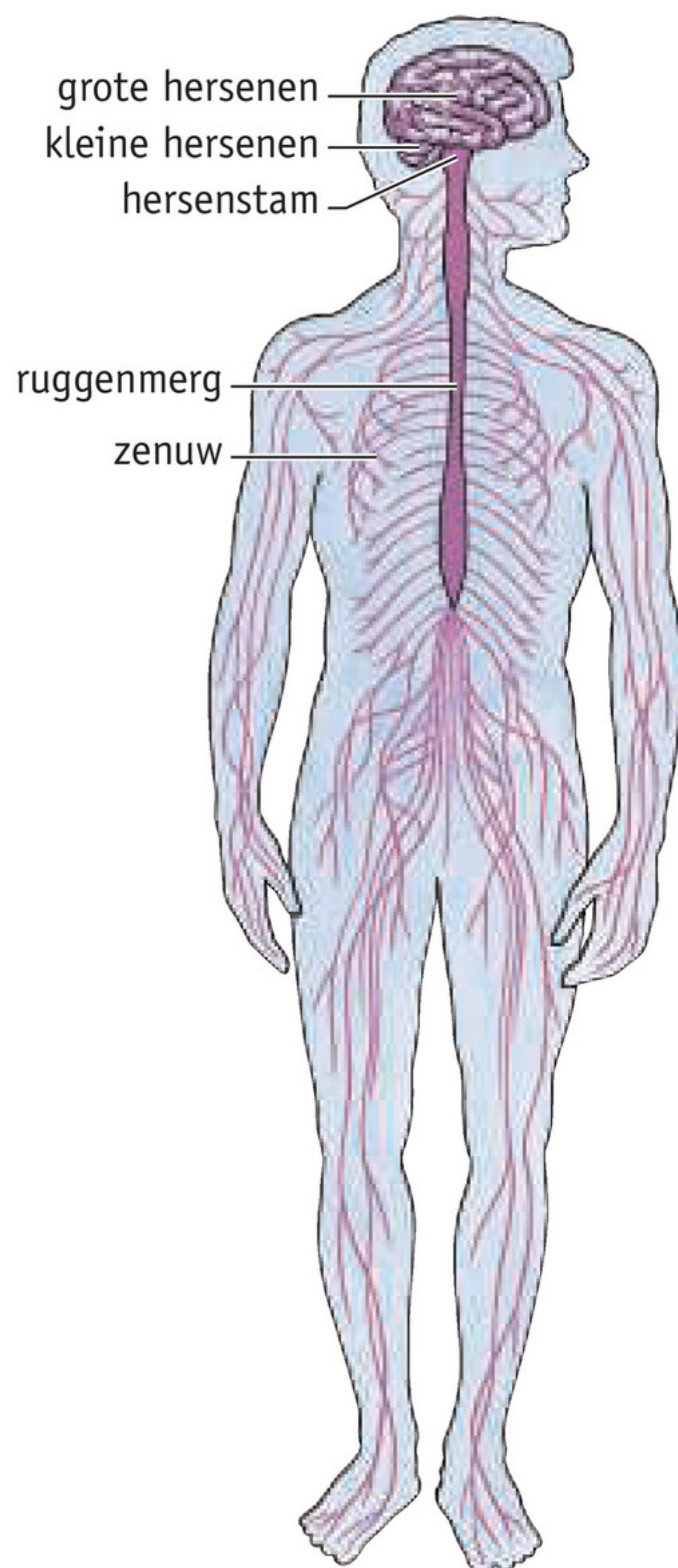
- 21** Een niet-nuchtere persoon heeft een bloedglucoseconcentratie van 7,2 mmol/L.
- a** Kan er bij deze persoon sprake zijn van diabetes mellitus? Leg je antwoord uit.
 - b** Waardoor is iemand met diabetes type 2 snel moe?
 - c** Na een insuline-injectie kan een patiënt met diabetes mellitus flauwvallen (hypoglycemische shock of hypo). Hoe is dit mogelijk?
 - d** Wat kunnen gevolgen van diabetes zijn op lange termijn? Gebruik bij het beantwoorden van deze vraag informatie op internet.



Leerdoelen

- Je kunt de bouw en signaalverwerking van de verschillende typen neuronen beschrijven.
- Je kunt de bouw, functies en werking van het zenuwstelsel beschrijven.

▼ **Afb. 22** Het zenuwstelsel (schematisch).



3 Het zenuwstelsel

Twee specialismen bestuderen het brein: de neurologie en de psychiatrie. Deze tweedeling is ontstaan doordat wetenschappers niet konden geloven dat het brein verantwoordelijk is voor beweging, waarneming en pijnbeleving én voor emoties, persoonlijkheid, humor en sociale vaardigheden.

DE WERKING VAN HET ZENUWSTELSEL

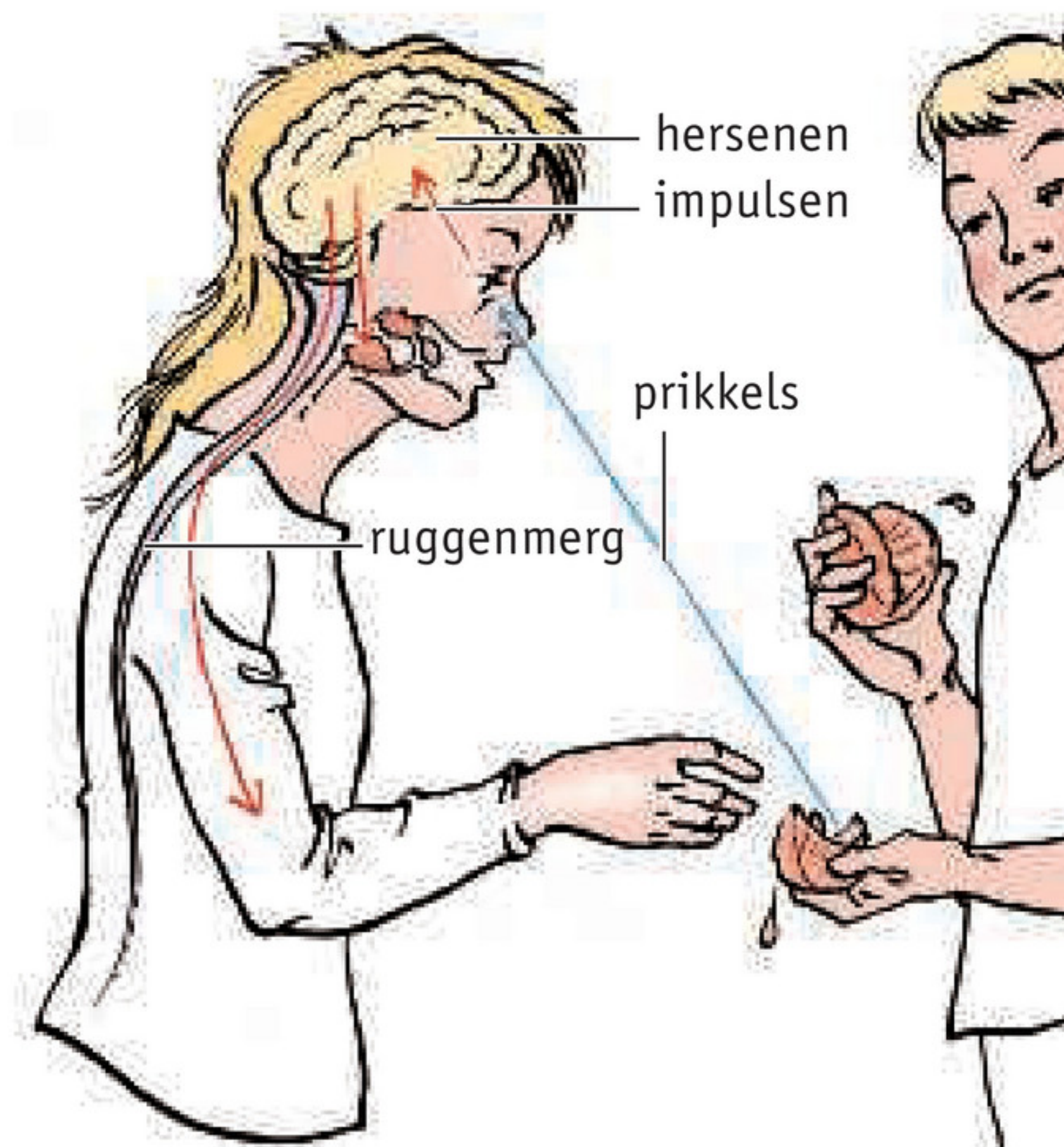
Het **zenuwstelsel** bestaat uit het centrale zenuwstelsel en het perifere zenuwstelsel. De grote hersenen, de kleine hersenen, de hersenstam en het ruggenmerg vormen samen het **centrale zenuwstelsel**. Het **perifere zenuwstelsel** bestaat uit zenuwen die alle delen van het lichaam verbinden met het centrale zenuwstelsel (zie afbeelding 22).

Deze indeling is gebaseerd op de bouw van het zenuwstelsel. Je kunt het zenuwstelsel ook indelen op grond van de functie. Daarbij kun je onderscheid maken tussen het **animale zenuwstelsel** en het **autonome** of **vegetatieve zenuwstelsel**. Het animale zenuwstelsel regelt vooral de bewuste reacties en de houding en beweging van het lichaam. Het autonome of vegetatieve zenuwstelsel regelt met name de werking van inwendige organen. Het regelt bijvoorbeeld de hartslagfrequentie, de ademhalingsfrequentie, de werking van de spijsverteringsorganen en de nieren, en de verwijding of vernauwing van de bloedvaten. Het autonome zenuwstelsel regelt onbewuste reacties of processen.

PRIKKELS EN IMPULSEN

Het zenuwstelsel speelt een belangrijke rol bij het tot stand komen van gedrag. Wanneer een klasgenoot bijvoorbeeld een sinaasappel pelt, zie en ruik je de sinaasappel. Je krijgt zin in een stukje sinaasappel en begint te watertanden. Je klasgenoot geeft je een stukje, je pakt het aan en stopt het in je mond. In afbeelding 23 is schematisch weergegeven welke processen daarbij in je lichaam plaatsvinden.

▼ **Afb. 23** De werking van het zenuwstelsel (schematisch).



Zintuigcellen in je ogen vangen lichtstralen op, afkomstig van de sinaasappel. Zintuigcellen in je neus nemen de geur van de sinaasappel waar. Lichtstralen en geuren zijn voorbeelden van **prikkel**s. Een prikkel is een invloed uit het milieu op een organisme. Onder invloed van prikkels ontstaan in zintuigcellen **impulsen**. Impulsen zijn een soort elektrische signalen. De impulsen die in de zintuigcellen in je ogen en in je neus ontstaan, worden door zenuwen naar je hersenen geleid. Daar worden de impulsen verwerkt. De hersenen reageren door impulsen af te geven. Deze worden door zenuwen naar je speekselklieren en naar bepaalde spieren in je arm geleid. Je speekselklieren reageren op de impulsen door speeksel af te scheiden, waardoor je gaat watertanden. Spieren in je arm reageren op de impulsen door samen te trekken, waardoor je het stukje sinaasappel kunt aanpakken en in je mond kunt stoppen.

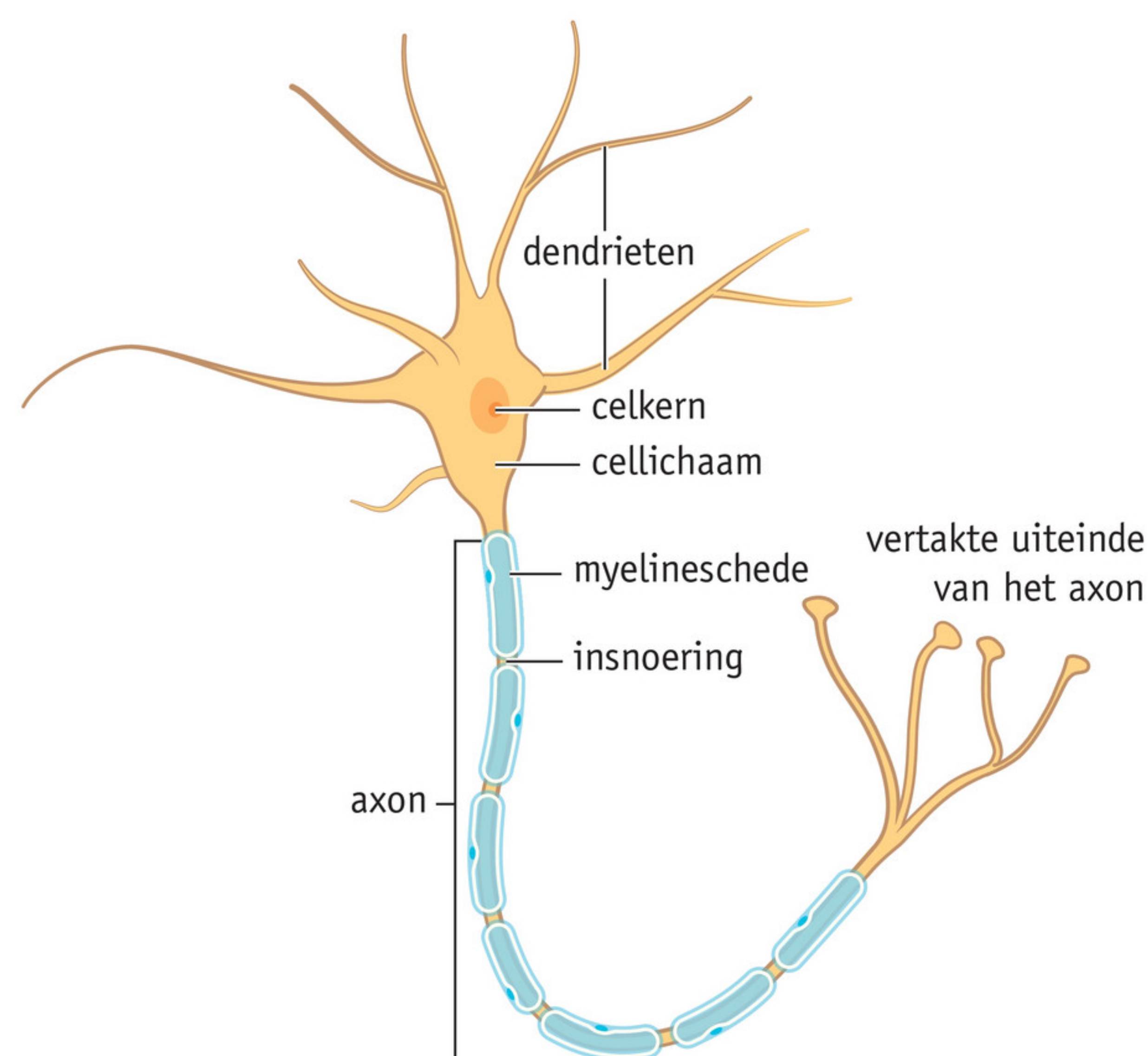
Zintuigcellen noem je **receptoren** (ontvangers). Ze vangen prikkels op uit het milieu en zetten deze om in impulsen. Neuronen geleiden impulsen en noem je daarom **conductoren** (geleiders). Spieren reageren op impulsen door samen te trekken of te ontspannen. Klieren reageren op impulsen door stoffen af te scheiden. Spiercellen en kliercellen zijn **effectoren** (uitvoerders).

NEURONEN

Zenuwweefsel bevat naast **neuronen** (**zenuwcellen**) ook ondersteunende cellen: de **gliacellen**. Verschillende typen gliacellen zorgen voor bijvoorbeeld de stevigheid van het zenuwweefsel, maken myeline aan, beschermen en voeden neuron en handhaven de homeostase van de weefselvloeistof die de neuron omgeeft. In zenuwweefsel komen veel meer gliacellen voor dan neuron en. De verhouding is ongeveer 9 : 1. Gliacellen kunnen zich delen terwijl de meeste neuron en dat niet kunnen.

Neuronen geleiden impulsen en geven signaalmoleculen af die je **neurotransmitters** noemt. Een neuron is opgebouwd uit een cellichaam met uitlopers (zie afbeelding 24). In het cellichaam bevinden zich de kern en het grootste deel van het cytoplasma met mitochondriën, ribosomen en endoplasmatisch reticulum. De cellichamen van vrijwel alle neuron en liggen in of vlak bij het centrale zenuwstelsel.

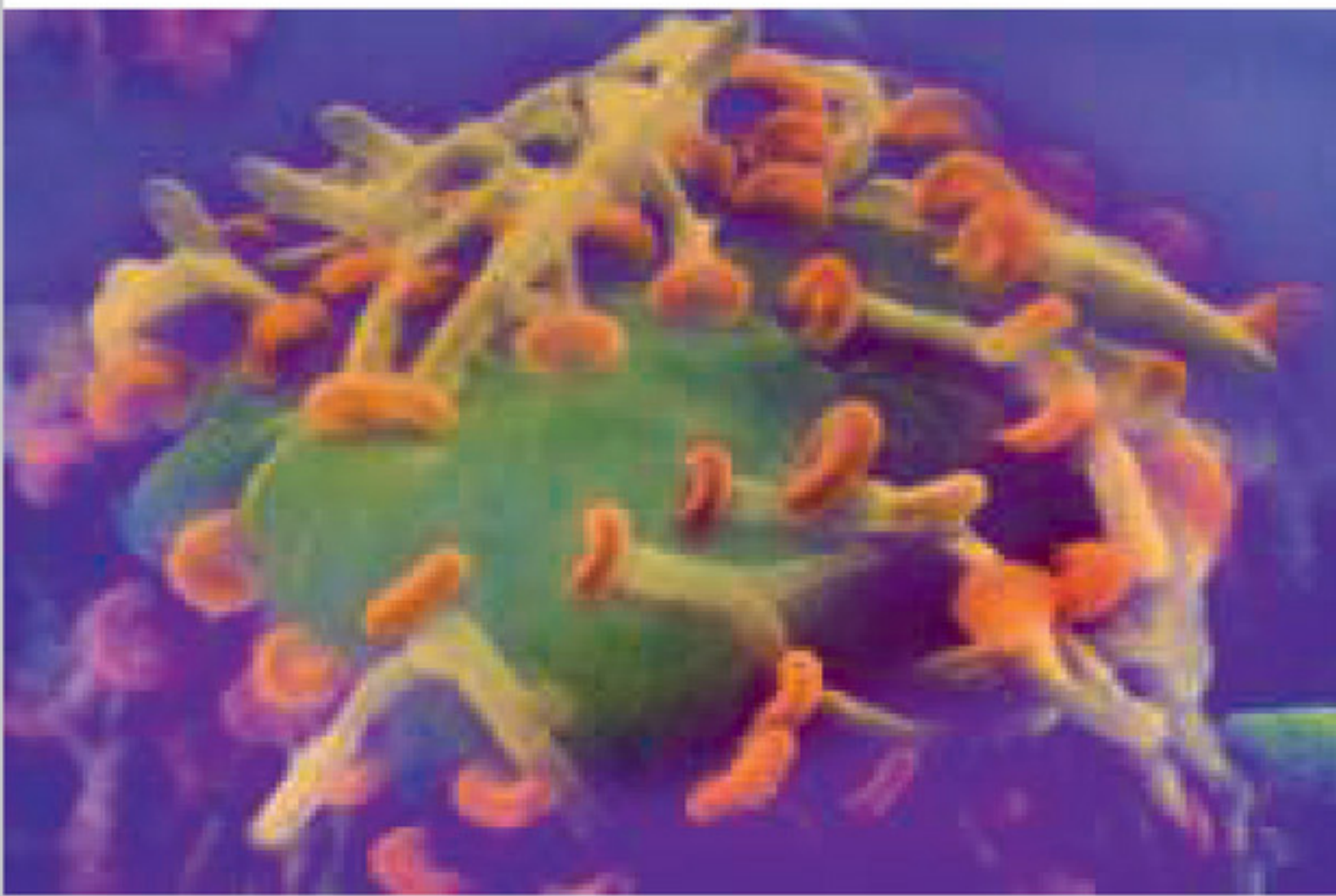
► **Afb. 24** Een neuron (schematisch).



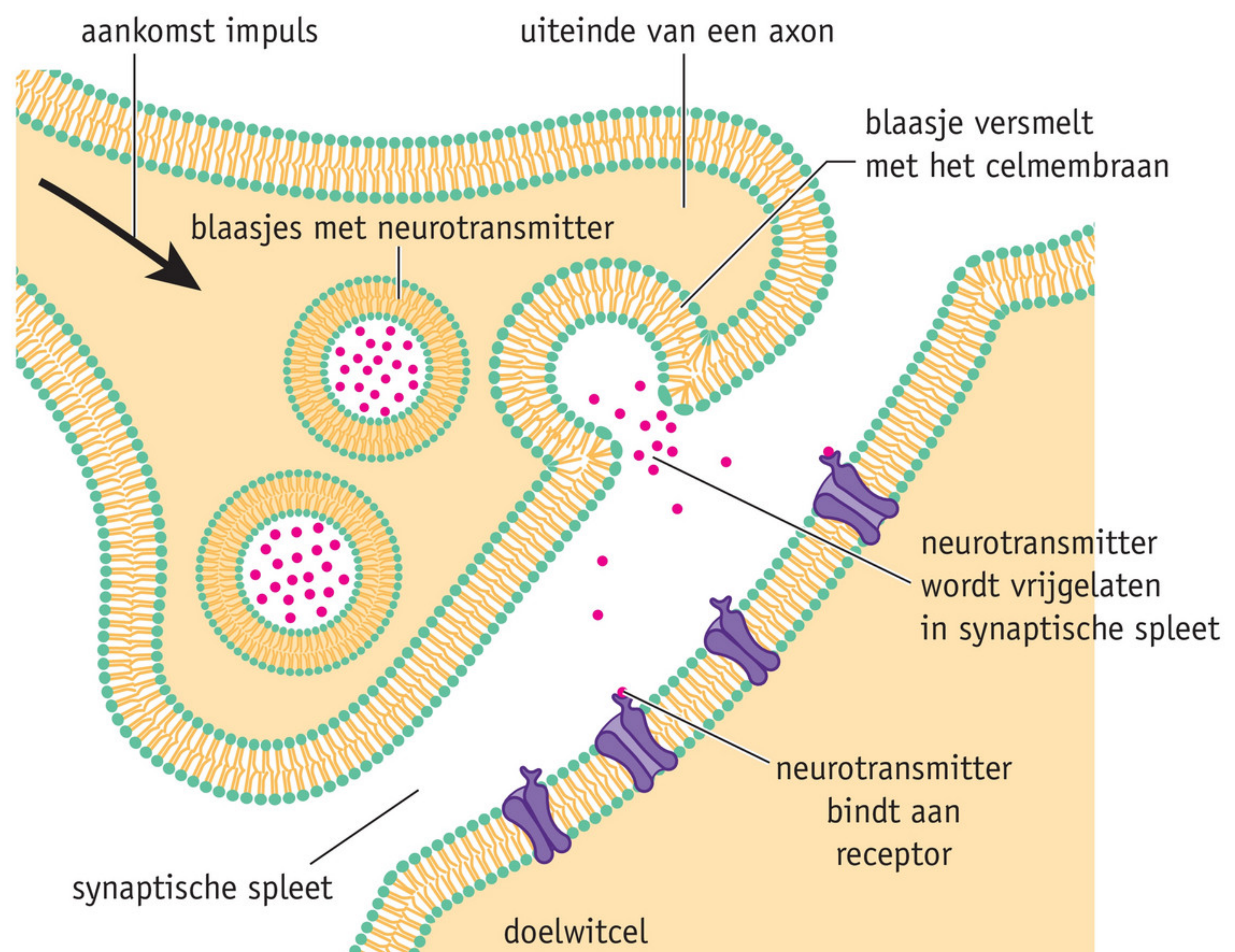
Neuronen kunnen impulsen ontvangen en doorgeven. Een uitloper die impulsen ontvangt en naar het cellichaam toe geleidt, heet een **dendriet**. Een uitloper die impulsen van het cellichaam af geleidt, heet een **axon (neuriet)**. De uiteinden van dendrieten en axonen zijn meestal sterk vertakt. Hierdoor kan een neuron contact hebben met veel andere cellen. Veel uitlopers zijn omgeven door een **myelineschede**. Een myelineschede bestaat uit gliacellen, die de **cellen van Schwann** worden genoemd. Tussen twee opeenvolgende cellen van Schwann zit een kleine onderbreking: een insnoering. Een uitloper zonder myelineschede noem je ongemyleiniseerd.

In meercellige organismen kunnen cellen op verschillende manieren met elkaar zijn verbonden. Zo'n verbinding noem je een **cell junction**. Het type cell junction hangt af van het doel van de verbinding. Dat kan bijvoorbeeld hechting of communicatie zijn. Cell junctions maken communicatie mogelijk tussen neuronen onderling of tussen neuronen en andere cellen. De vertakkingen van een axon eindigen in **synapsen** (zie afbeelding 25). Dat zijn plaatsen waar een impuls van de ene cel naar de andere cel wordt doorgegeven. Een synaps is een spleet tussen het uiteinde van een axon van een neuron en een doelwitcel. Dat kan een ander neuron, een spiercel, een endocriene cel of een exocriene cel zijn. Wanneer een impuls aankomt in het uiteinde van een axon, versmelten blaasjes met neurotransmitters in het uiteinde van dit axon met het celmembraan. Hierdoor komt de inhoud vrij in de synaptische spleet vrij (zie afbeelding 26). De neurotransmitters binden vervolgens aan receptoren in het membraan van de doelwitcel waardoor de impuls kan worden doorgegeven. Communicatie via neuronen is snel en doelgericht, doordat de uitlopers de impulsen snel geleiden en er neurotransmitters vrijkomen bij de doelwitcel. Zo kan bijvoorbeeld het samentrekken van vele spiercellen tegelijkertijd worden gecoördineerd om een gerichte, snelle beweging mogelijk te maken.

▼ **Afb. 25** Een foto van een cel met uiteinden van axonen (SEM, vergroting 6000×).



► **Afb. 26** Impulsoverdracht in een synaps (schematisch).



TYPEN NEURONEN

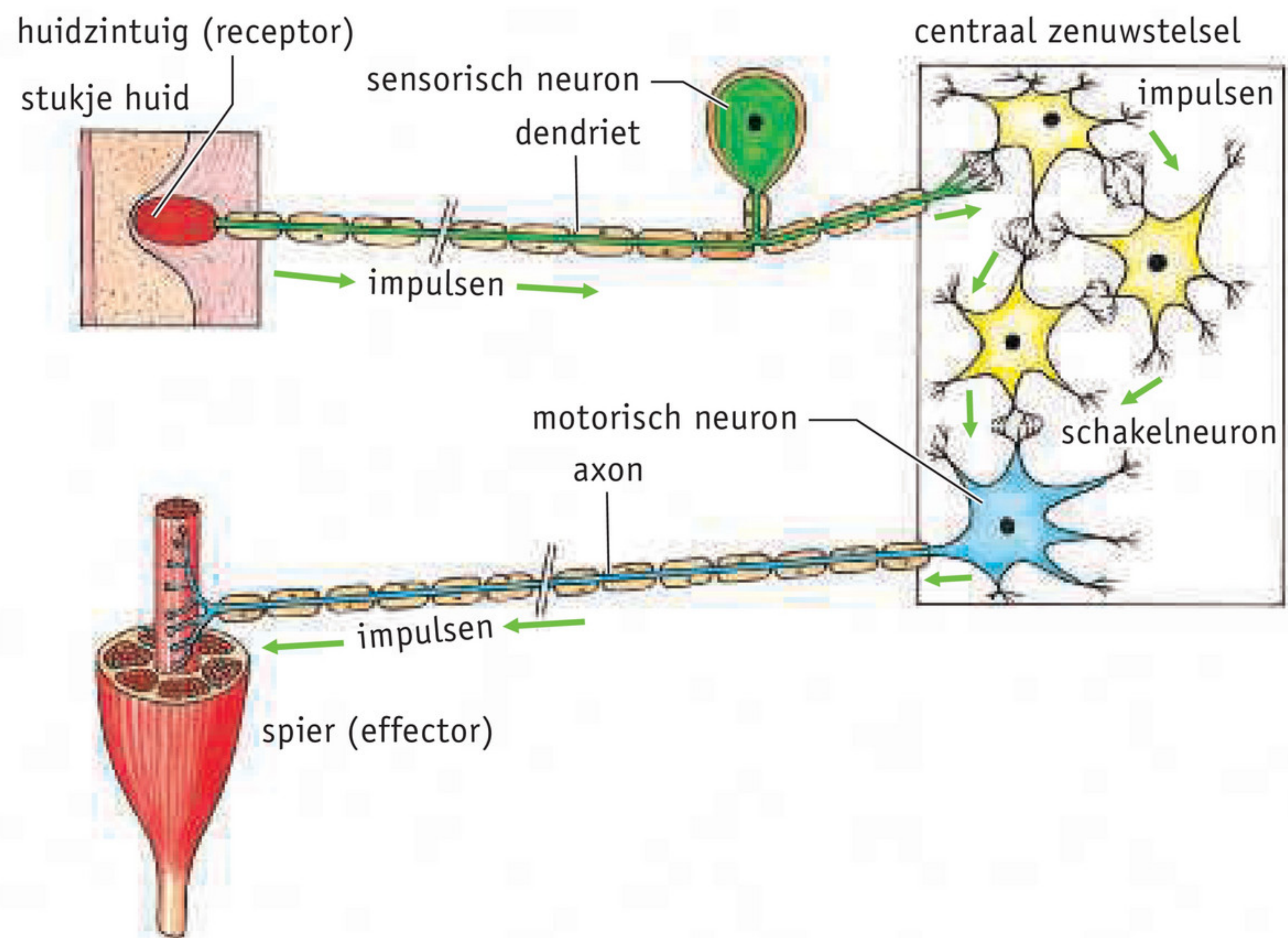
Er zijn drie typen neuronen: sensorische neuronen, schakelneuronen en motorische neuronen (zie afbeelding 27).

Sensorische neuronen (gevoelszenuwcellen) geleiden impulsen van receptoren naar het centrale zenuwstelsel. De cellichamen van de meeste sensorische neuronen liggen vlak bij het centrale zenuwstelsel. Een sensorisch neuron heeft één lange dendriet en één kort axon. Soms is de dendriet wel een meter lang.

Schakelneuronen (schakelcellen) geleiden impulsen binnen het centrale zenuwstelsel. Schakelneuronen kunnen impulsen ontvangen van sensorische neuronen en deze doorgeven aan motorische neuronen. Ze kunnen ook impulsen ontvangen en doorgeven aan andere schakelneuronen. Schakelneuronen liggen geheel binnen het centrale zenuwstelsel.

Motorische neuronen (bewegingszenuwcellen) geleiden impulsen van het centrale zenuwstelsel naar spieren en klieren. De cellichamen van de meeste motorische neuronen liggen in het centrale zenuwstelsel. Een motorisch neuron heeft meerdere korte dendrieten en één lang axon naar de effector.

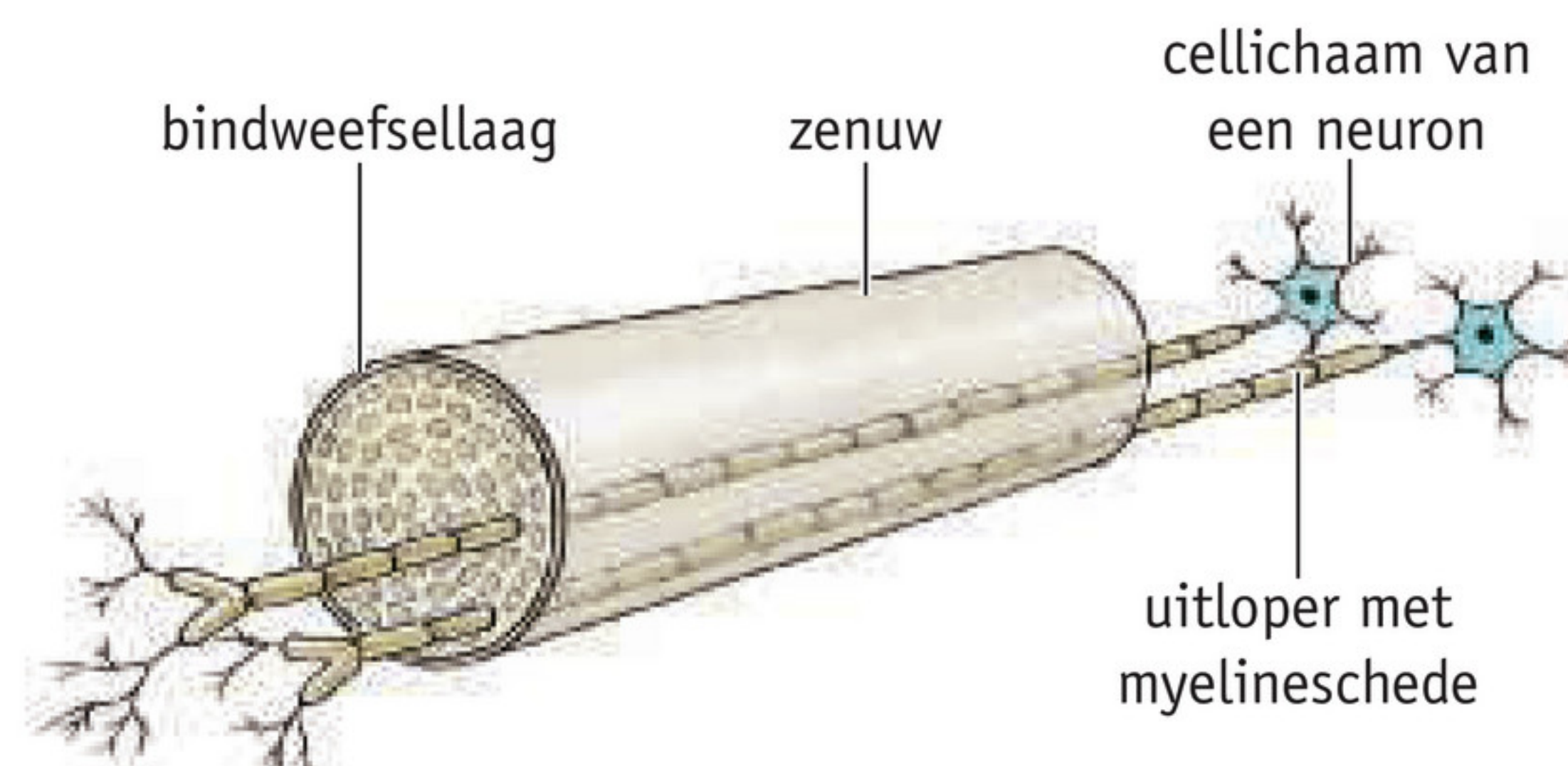
► **Afb. 27** Typen neuronen (schematisch).



ZENUWEN

De uitlopers van sensorische en motorische neuronen liggen bij elkaar in **zenuwen** (zie afbeelding 28). De myelineschede isoleert uitlopers in een zenuw van elkaar. Om een zenuw heen ligt een laag bindweefsel. Deze laag zorgt voor bescherming. Er zijn drie typen zenuwen: gevoelszenuwen, bewegingszenuwen en gemengde zenuwen.

► **Afb. 28** Een zenuw met enkele neuronen (schematisch).



Een gevoelszenuw bevat alleen uitlopers van sensorische neuronen. Voorbeelden van gevoelszenuwen zijn de oogzenuwen.

Een bewegingszenuw bevat alleen uitlopers van motorische neuronen.

Een gemengde zenuw bevat zowel uitlopers van sensorische als van motorische neuronen. De meeste zenuwen zijn gemengde zenuwen. Voorbeelden van gemengde zenuwen zijn de zenuwen die armen of benen verbinden met het ruggenmerg.

opdrachten

- 22** Een neuron bestaat uit verschillende delen.
- Welke uitlopers geleiden impulsen naar het cellichaam toe? En welke uitlopers geleiden impulsen van het cellichaam af? Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 88A).
 - Door aantasting van de myelineschede kunnen impulsen 'weglekken'. Wat is de functie van de myelineschede om een uitloper van een neuron?
 - Komen er in een zenuw die het ruggenmerg met een onderarm verbindt, uitlopers van sensorische neuronen voor? Komen er ook uitlopers van motorische neuronen voor?
 - In welke richting geleidt een gevoelszenuw impulsen?
 - Waardoor kunnen impulsen in synapsen maar in één richting worden doorgegeven?
- 23** ALS (amyotrofische laterale sclerose) is een ziekte waarbij neuronen in het ruggenmerg en de hersenstam afsterven. ALS ken je misschien van de 'Ice Bucket Challenge' of van de posters (zie afbeelding 29). Door de ziekte functioneren spieren onvoldoende. Steeds meer spieren worden aangetast, behalve de spieren van het hart, de blaas en de darmen. Het uitvallen van de ademhalingsspieren is meestal de oorzaak van het overlijden van een patiënt. De oorzaak van ALS is niet bekend. Welke neuronen sterven af bij ALS? Leg je antwoord uit.
- 24** Hormonen en neurotransmitters zijn signaalmoleculen. Welke van deze signaalmoleculen zijn het meest geschikt om snelle bewegingen te coördineren? Leg je antwoord uit.

HERSENEN

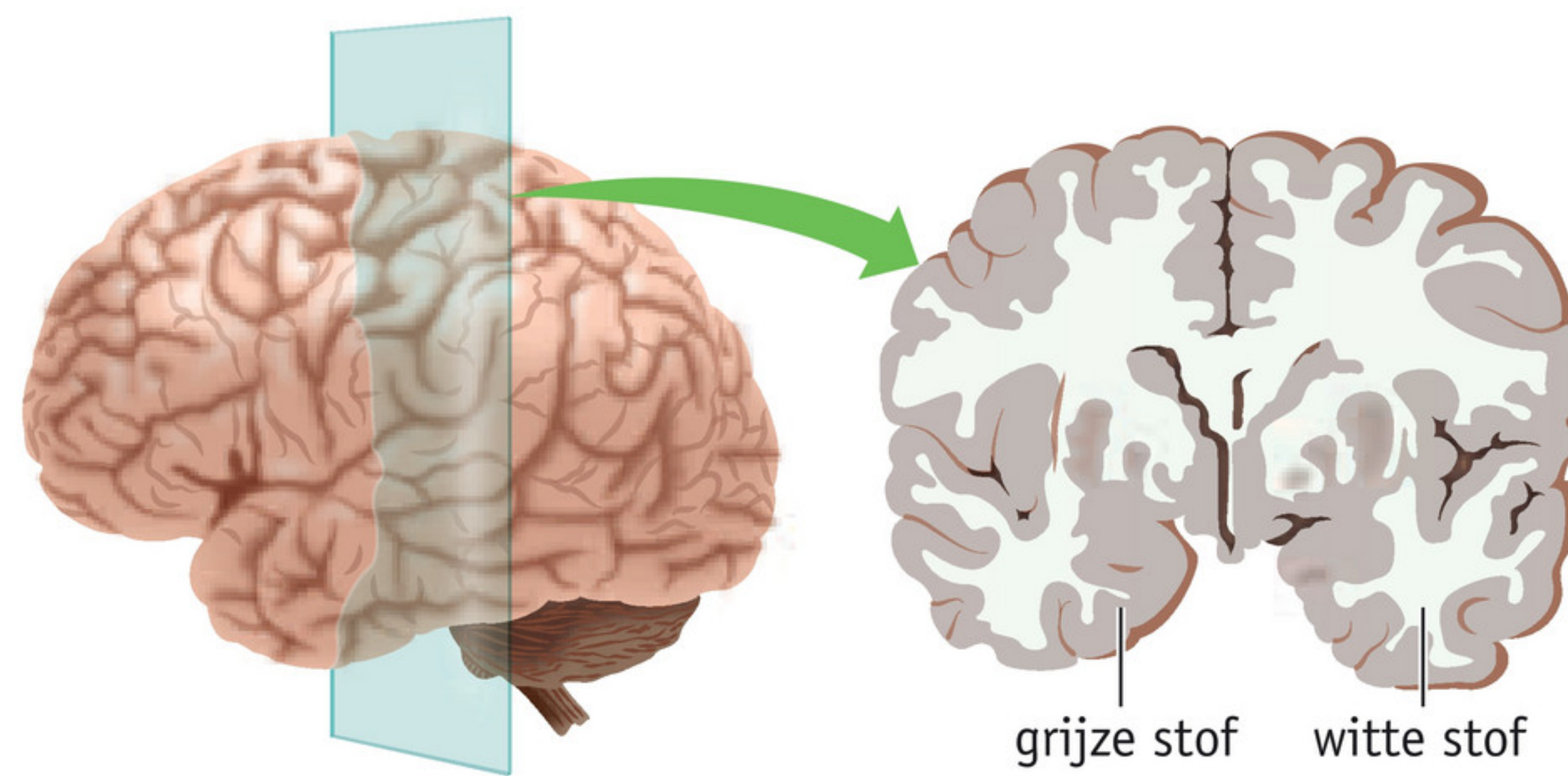
De hersenen bestaan uit de **grote hersenen**, de **kleine hersenen** en de hersenstam. Ze zijn omgeven door drie hersenvliezen die bescherming bieden. Het hersenvocht dat in de holten in de hersenen wordt aangemaakt, beschermt de hersenen en het ruggenmerg tegen schokken, voert afvalstoffen af en speelt een rol bij het handhaven van de juiste temperatuur voor deze organen.

De grote en de kleine hersenen bestaan elk uit een linkerhelft en een rechterhelft. Ze zijn in het midden verbonden door de hersenbalk. In de **hersenschors** (het buitenste gedeelte) van de grote en de kleine hersenen ligt de **grijze stof**. Hierin liggen de cellichamen van schakelneuronen. Doordat de hersenschors sterk gevouwen is, zitten er veel plooien en groeven in. In het **merg** (het binnenste gedeelte) ligt de **witte stof** met daarin de axonen van schakelneuronen (zie afbeelding 30). De witte kleur wordt veroorzaakt door de myelinescheden die om de axonen heen liggen.

▼ **Afb. 29** Campagneposter Stichting ALS Nederland.

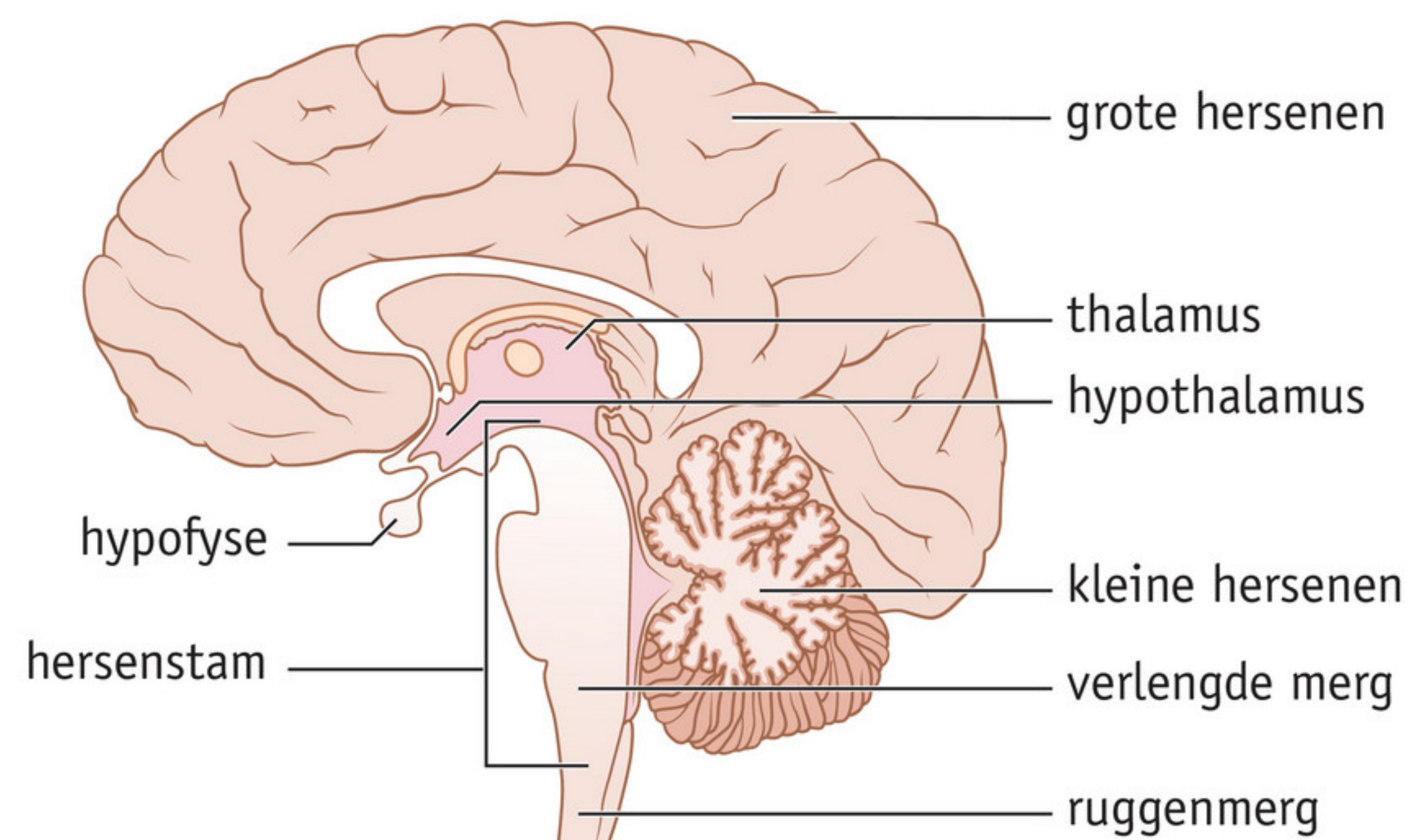


- **Afb. 30** Dwarsdoorsnede van de grote hersenen.



De **hersenstam** is het gedeelte tussen de grote hersenen en het ruggenmerg. De hersenstam geleidt impulsen van de grote en kleine hersenen naar het ruggenmerg en omgekeerd. Hersenzenuwen uit de hersenstam geleiden ook impulsen van receptoren uit hoofd en hals naar de grote en kleine hersenen en in omgekeerde richting naar de effectoren. Het onderste deel van de hersenstam, daar waar de hersenstam overgaat in het ruggenmerg, heet het **verlengde merg** (zie afbeelding 31). In het verlengde merg worden de impulsen van de linkerhelft van het lichaam naar de rechterhersenelft geleid en de impulsen van de rechterhelft van het lichaam naar de linkerhersenelft. De impulsbanen kruisen elkaar. In het verlengde merg liggen verschillende centra die belangrijke lichaamsfuncties regelen, zoals het hartritme, de diameter van de bloedvaten en de ademhalingsfrequentie.

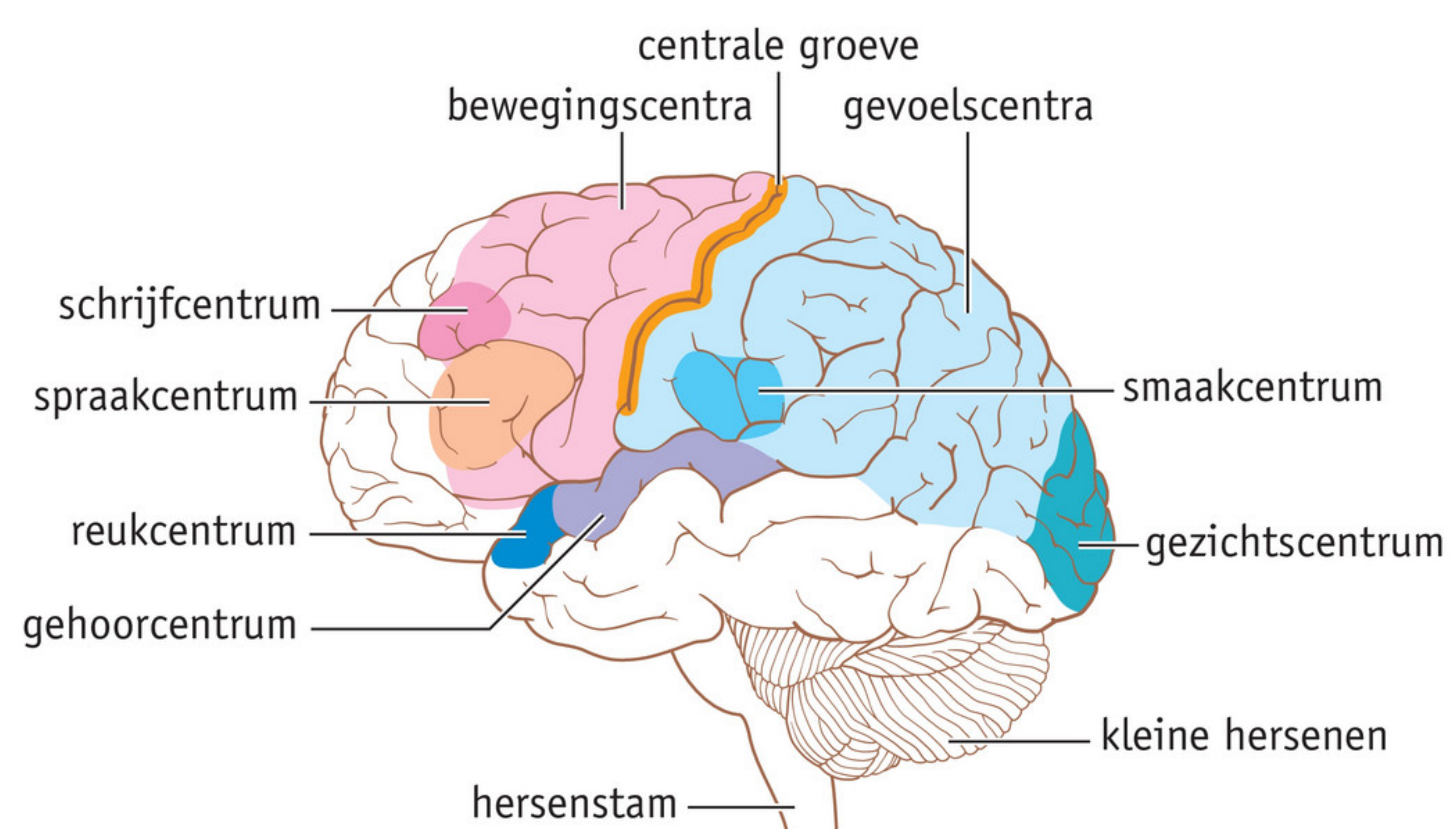
- **Afb. 31** Lengtedoorsnede van de hersenen.



HERSENCENTRA

De hersenschors in de grote hersenen bestaat uit gebieden met verschillende functies. Van een aantal gebieden is de functie bekend (zie afbeelding 32).

- **Afb. 32** Buitenaanzicht van de hersenen met de ligging van de hersencentra.



Je noemt deze gebieden ook wel **hersencentra**. Je kunt gevoelscentra en bewegingscentra onderscheiden. In **gevoelscentra** komen impulsen aan. De plaats in de hersenschors waar deze impulsen aankomen en worden verwerkt, bepaalt de aard van de waarnemingen die je doet. In **bewegingscentra** ontstaan impulsen voor bewegingen die je bewust wilt maken. De plaats waar de impulsen ontstaan, bepaalt welke skeletspieren er gaan bewegen. De linkerhersenhalft heeft een gevoelscentrum en een bewegingscentrum voor alle lichaamsdelen aan de rechterkant van het lichaam, en andersom.

Alle delen van het lichaam zijn verbonden met gevoelscentra. De meeste gevoelscentra liggen bij elkaar in de hersenschors. De gevoelscentra voor ruiken, horen en zien liggen apart in de hersenschors. Wanneer impulsen aankomen in een primair gevoelscentrum, word je je bewust van prikkels. In de secundaire gevoelscentra (of associatiecentra) wordt het verband gelegd tussen de waarneming en eerdere waarnemingen. Door informatie in je geheugen te associëren met de binnengekomen prikkels, ben je in staat om de prikkels te interpreteren en te begrijpen. Wanneer bijvoorbeeld bij iemand een beschadiging optreedt in de secundaire gehoorcentra, kan die persoon wel normaal horen maar niet begrijpen wát hij hoort.

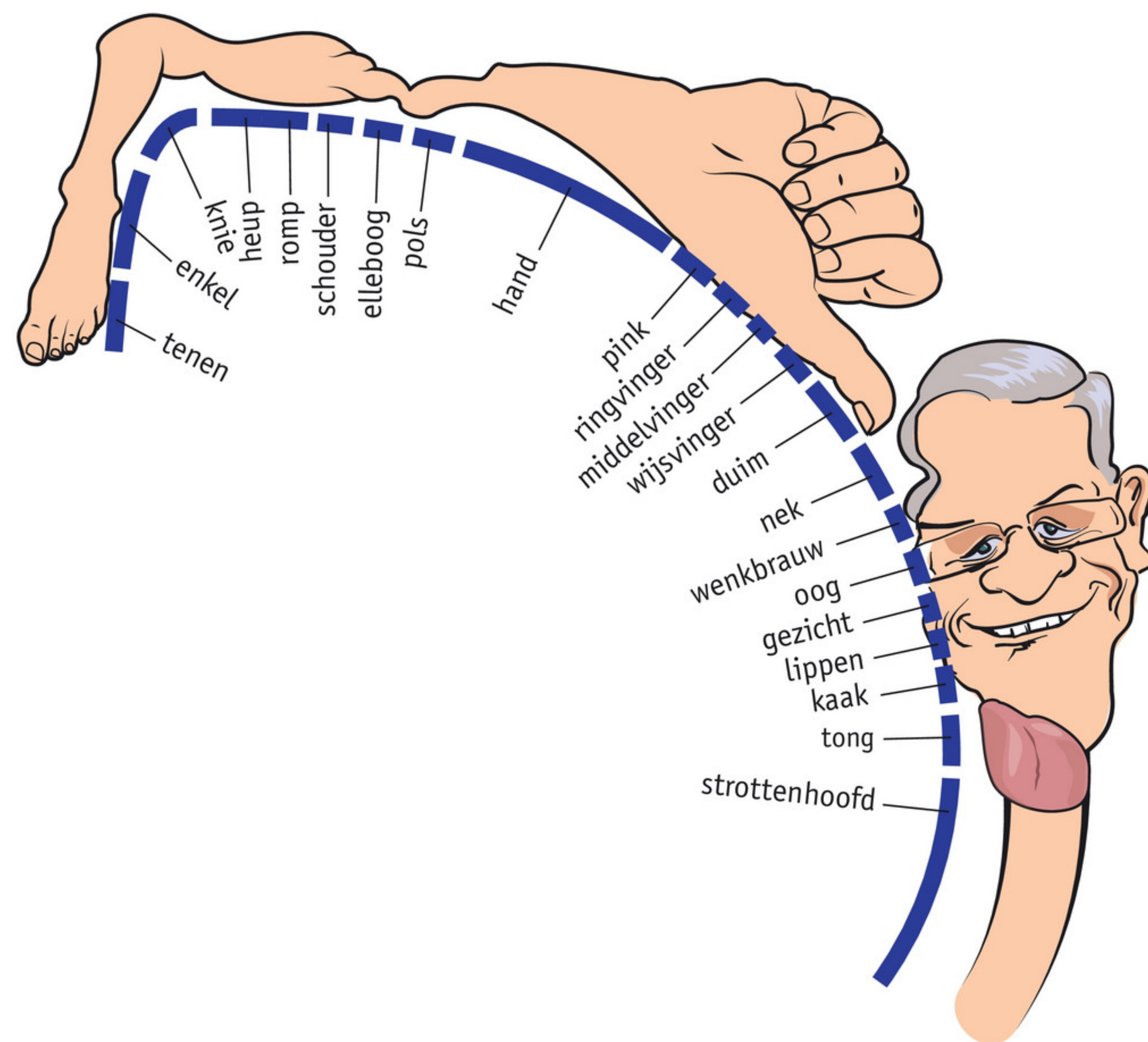
De meeste bewegingscentra liggen ook bij elkaar in de hersenschors. Een bewegingscentrum voor een bepaald lichaamsdeel ligt vlak bij het gevoelscentrum voor dat lichaamsdeel. De bewegingscentra voor schrijven en spreken liggen apart in de hersenschors. In de primaire bewegingscentra ontstaan impulsen voor bewegingen die je bewust wilt maken. Ze worden via de hersenstam en motorische neuronen naar spieren in hoofd en hals geleid, of via het ruggenmerg en motorische neuronen naar spieren in romp en ledematen. In de secundaire bewegingscentra worden de impulsen die vanuit de ernaast gelegen primaire bewegingscentra komen, op elkaar afgestemd. De secundaire bewegingscentra ontvangen hiervoor ook informatie over de houding van (delen van) het lichaam zodat de primaire bewegingscentra de juiste spieren kunnen aansturen.

Hoewel de hersenhelften qua bouw gelijk zijn, hebben ze geen identieke functie. Zo kunnen de meeste mensen beter gezichten herkennen met de rechterhersenhalft en blijkt het spreken meer vanuit de linkerhersenhalft te komen. Vaak voer je meerdere bewegingen tegelijkertijd uit. De kleine hersenen coördineren alle bewegingen van je lichaam. Als je bijvoorbeeld iets wilt pakken en je arm uitsteekt, neem je ondertussen met je zintuigen (vooral je ogen) allerlei veranderingen waar. In je kleine hersenen worden deze waarnemingen gecombineerd met je beweging. Hierdoor kun je met je arm het voorwerp inderdaad vastpakken. Ook zorgen de kleine hersenen voor het handhaven van je evenwicht.

opdrachten

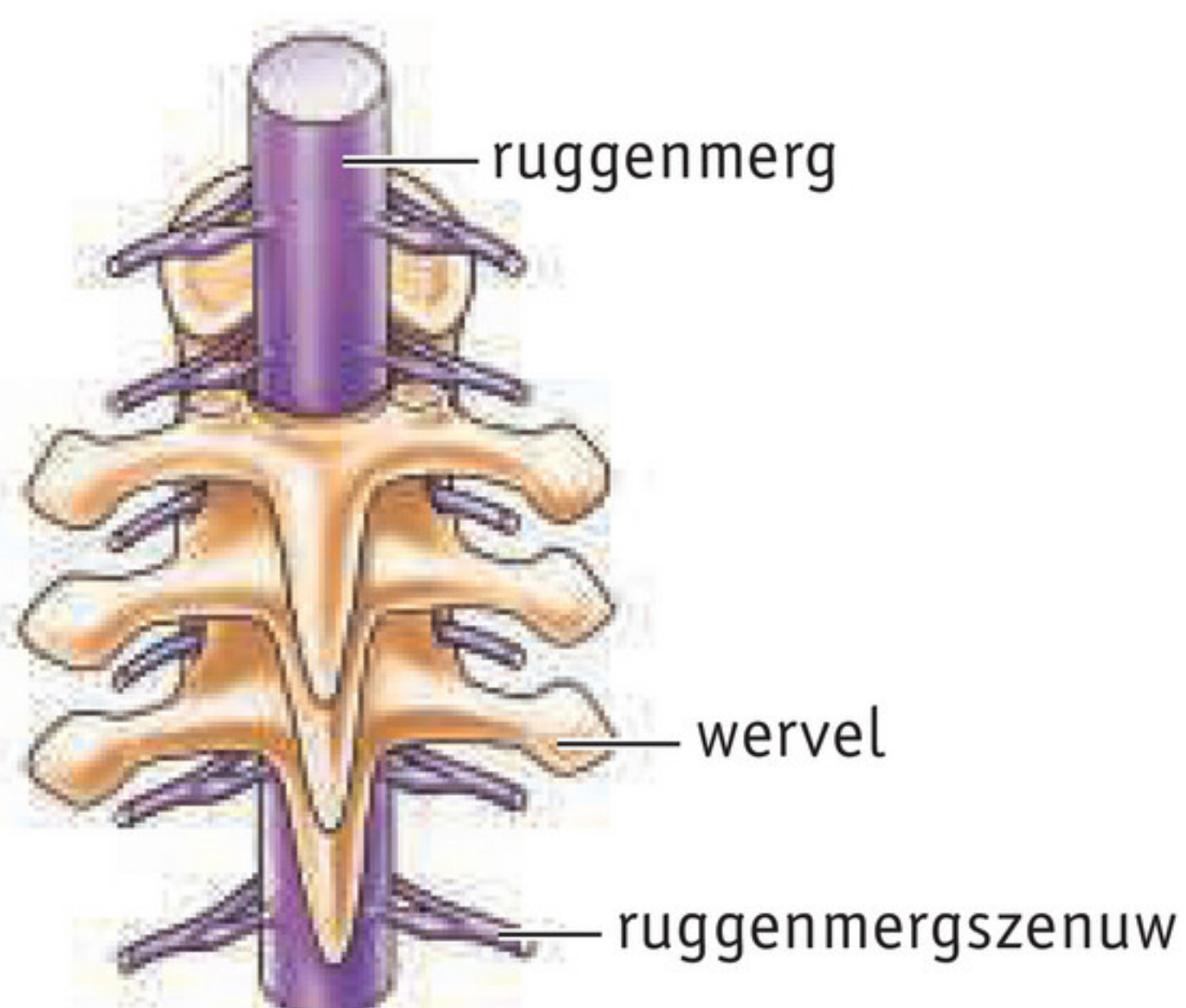
- 25** De hersenschors heeft veel plooien en groeven.
- a** Wat is hiervan het voordeel?
 - b** In afbeelding 33 wordt de verbinding tussen de sensorische centra in de hersenschors en de lichaamsdelen weergegeven door een homunculus, een op de hersenschors geprojecteerd figuurtje van de mens. Leg uit waarom gezicht en handen in dit figuurtje zo'n groot oppervlak op de hersenschors innemen.

► **Afb. 33** Een homunculus.



- 26 a** Als iemand in het linkerdeel van de grote hersenen een hersenbloeding krijgt, kan een verlamming ontstaan aan de rechterzijde van het lichaam. Leg dat uit.
- b** Bij het verwijderen van een hersentumor gaat een chirurg voorzichtig te werk. Hoe meer tumorweefsel een chirurg weghaalt, hoe beter. Doordat de hersenen geen pijn kunnen waarnemen, is het mogelijk om in de hersenen van een patiënt te snijden terwijl deze bij kennis is. Leg uit wat hiervan het voordeel is.
- c** Als je bij een proefpersoon een bepaald gebied in de hersenschors prikkelt met een elektrode, gaat zijn duim bewegen. In welk gebied in de hersenschors ontstaan de impulsen die de duim laten bewegen? Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 88C).
- 27 a** Mensen bij wie een arm of been is geamputeerd, hebben vaak toch het gevoel dat ze pijn hebben in het lichaamsdeel dat er niet meer is. Dit verschijnsel heet fantoompijn. Leg uit waardoor dit wordt veroorzaakt.
- b** Er zijn mensen blind geworden doordat ze bij een val op hun achterhoofd terechtkwamen. Welk hersengebied in de hersenen is dan beschadigd? Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 88C) en verklaar je antwoord.

▼ **Afb. 34** Ligging van het ruggenmerg in de wervelkolom.



► PRACTICUMOPDRACHT 1

RUGGENMERG

Het ruggenmerg ligt bij gewervelden goed beschermd in het wervelkanaal, dat wordt gevormd door de gaten in de op elkaar liggende wervels (zie afbeelding 34). Om het ruggenmerg heen liggen drie ruggenmergsvliezen die bescherming bieden. In het midden van het merg bevindt zich een holte: het centrale kanaal. Dit kanaal is gevuld met vocht en staat rechtstreeks in verbinding met het hersenvocht in de hersenhollen.

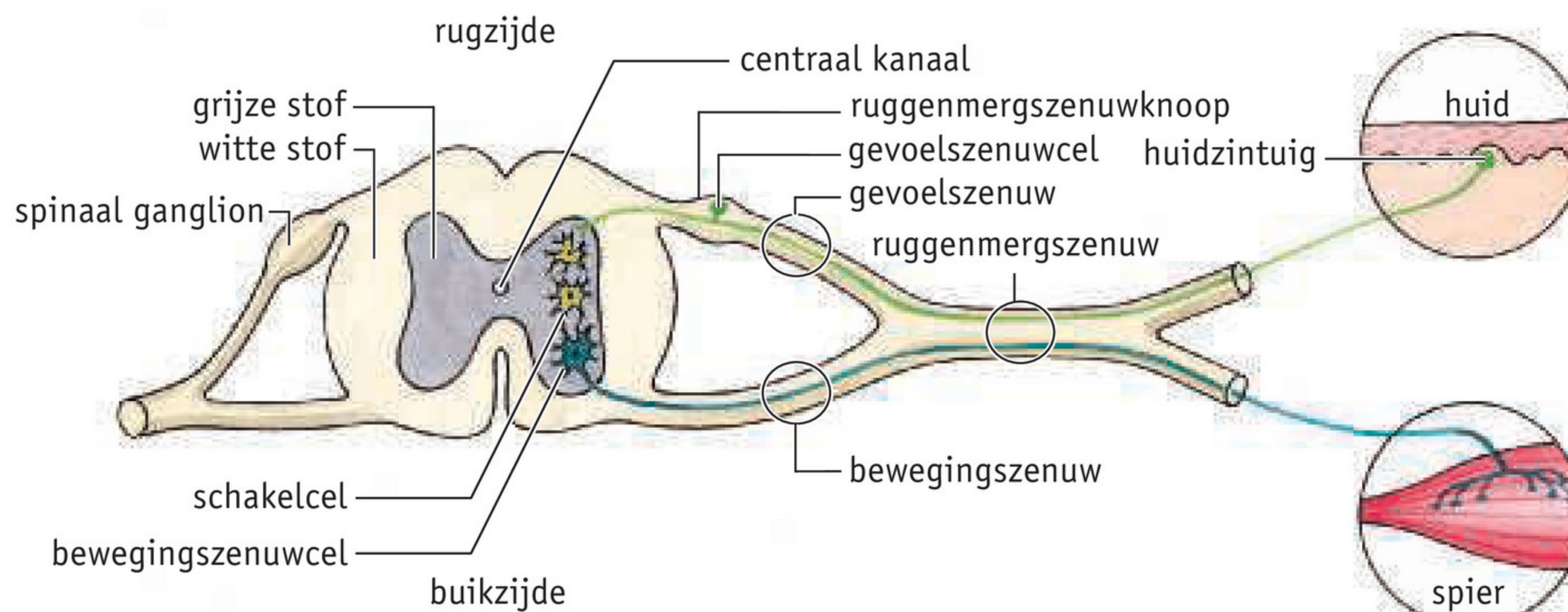
Het ruggenmerg loopt vanaf de bovenste halswervel (de atlas) tot aan de tweede lendenwervel. Van de halswervels tot aan het staartbeen verlaten ruggenmergszenuwen het wervelkanaal. Ze komen door openingen links en rechts tussen de wervels naar buiten (zie afbeelding 35).

▼ **Afb. 35** Ruggenmergszenuwen en hersenzenuwen.



Ruggenmergszenuwen zijn gemengde zenuwen. Elke zenuw verbindt een bepaald gedeelte van de romp of de ledematen met het ruggenmerg. Aan de rugkant komen uitlopers van sensorische neuronen bij elkaar in gevoelszenuwen. De verdikkingen in deze zenuwen worden gevormd door een opeenhoping van cellichamen van sensorische neuronen, de zogenoemde ruggenmergszenuwknopen of **spinale ganglia** (enkelvoud: spinaal ganglion). De cellichamen in de ganglia zijn door axonen verbonden met het ruggenmerg. Uitlopers van motorische neuronen komen aan de buikkant bij elkaar in bewegingszenuwen. Een gevoelszenuw en een bewegingszenuw komen samen in een ruggenmergszenuw (zie afbeelding 36).

▼ **Afb. 36** Overzicht van de ligging van neuronen in het ruggenmerg en in een ruggenmergszenuw (schematisch).



- ▼ **Afb. 37** Een microscopische foto van een dwarsdoorsnede van het ruggenmerg.

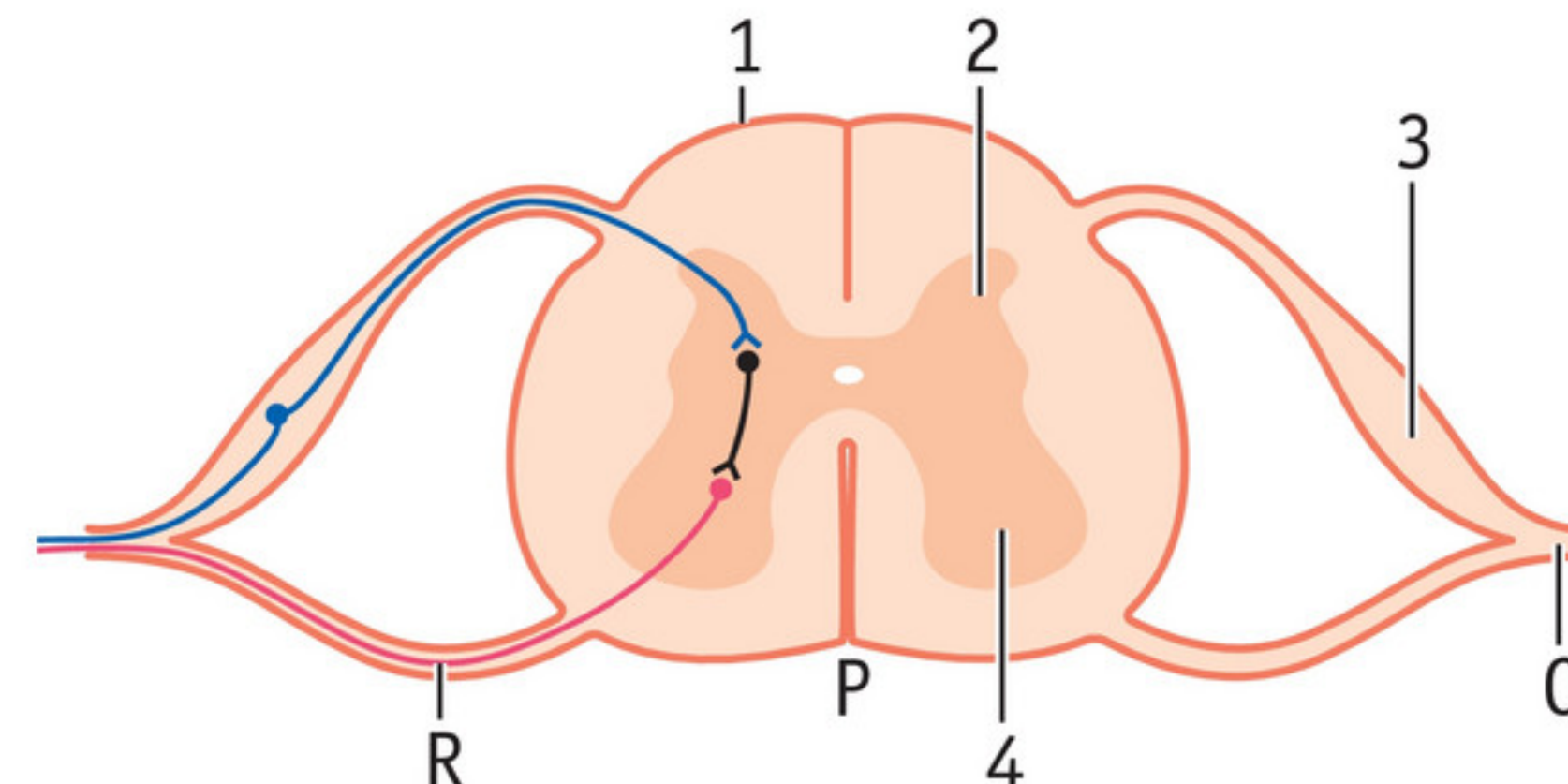


In afbeelding 37 zie je een foto van een dwarsdoorsnede van het ruggenmerg. In het buitenste gedeelte ligt de witte stof. Hierin liggen veel uitlopers van schakelneuronen. Ze geleiden impulsen van en naar de hersenen, dus omlaag en omhoog. In het midden bevindt zich een vlindervormig gedeelte dat donkerder van kleur is: de grijze stof. In het midden en aan de rugzijde in de grijze stof liggen de cellichamen van schakelneuronen. Aan de buikzijde liggen de cellichamen van motorische neuron.

► PRACTICUMOPDRACHT 2

opdrachten

- 28** Wat veroorzaakt de witte kleur van de witte stof in het ruggenmerg?
- 29** In afbeelding 38 is een dwarsdoorsnede van het ruggenmerg met aangesloten zenuwen schematisch getekend.
- Met welk nummer is de plaats aangegeven waar zich cellichamen van motorische neuron bevinden?
 - Ligt P aan de buikzijde of aan de rugzijde? Leg je antwoord uit.
 - Geleidt uitloper R impulsen naar een effector of naar een receptor? Leg je antwoord uit.
 - Welke doorsnede van het ruggenmerg bevat de meeste witte stof: een dwarsdoorsnede die is gemaakt ter hoogte van de halswervels of een dwarsdoorsnede die is gemaakt ter hoogte van de lendenwervels? Leg je antwoord uit.



- **Afb. 38** Dwarsdoorsnede van het ruggenmerg (schematisch).

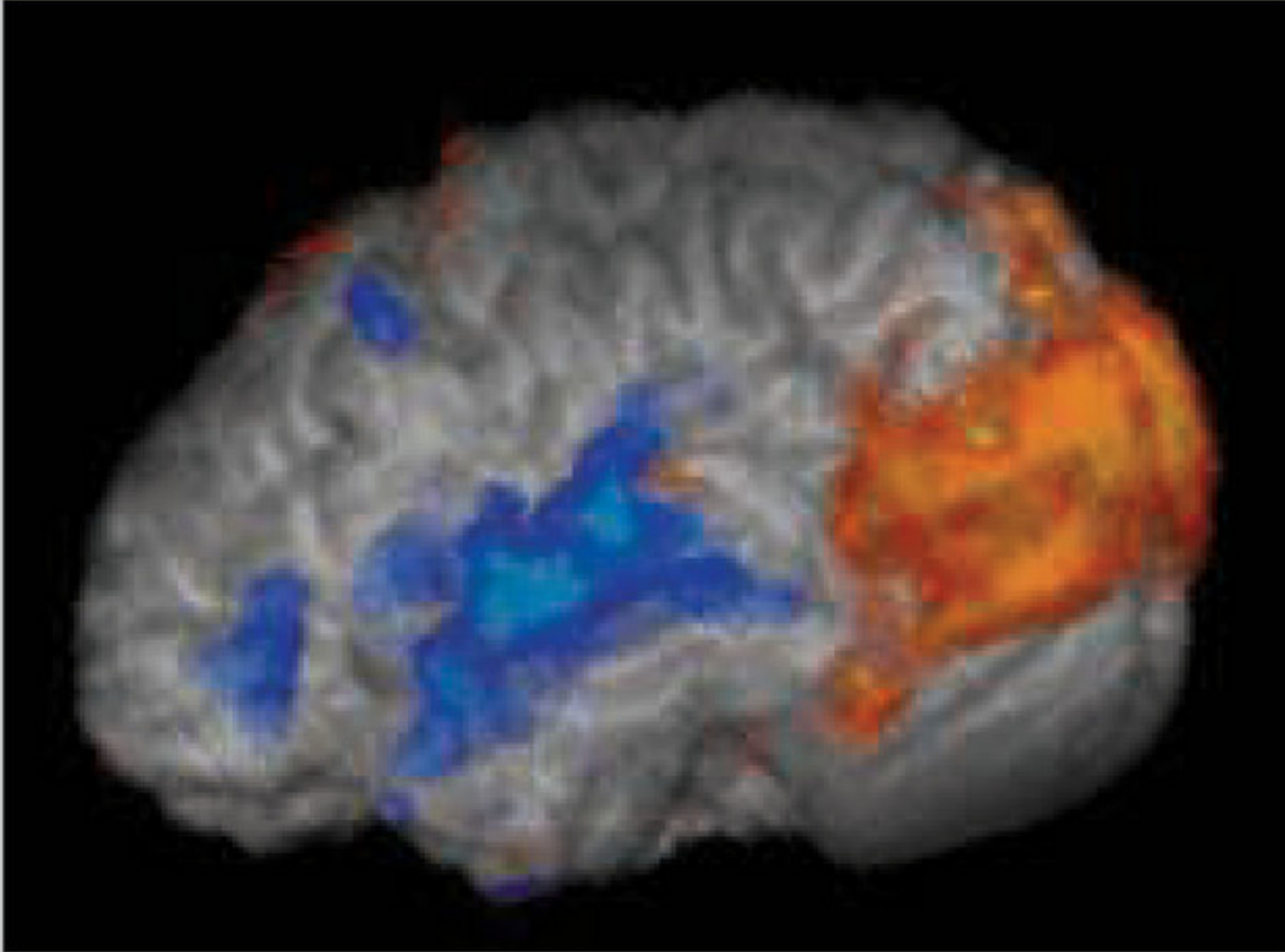
- 30** In 2011 heeft voetballer Mihai Neșu van FC Utrecht tijdens een training een dwarslaesie in de nek opgelopen. Een dwarslaesie is een beschadiging aan het ruggenmerg, waardoor de verbinding tussen de hersenen, organen en spieren gedeeltelijk of totaal is onderbroken. Als gevolg daarvan kunnen vanuit de lichaamsdelen onder de dwarslaesie minder of geen impulsen meer naar de hersenen worden geleid. Andersom kunnen vanuit de hersenen minder of geen impulsen meer naar deze lichaamsdelen toe worden geleid. De mate van onderbreking en de hoogte van de dwarslaesie bepalen in welke mate een persoon nog controle heeft over zijn bewegingen en organen en of hij nog gevoel heeft. Na drie maanden revalidatie vertelt Mihai Neșu in een interview dat alleen zijn rechterarm en zijn hoofd nog volledig functioneren.
- Welke delen van het centrale zenuwstelsel functioneren nog volledig bij Mihai Neșu?
 - Is de dwarslaesie in de nek van Mihai Neșu totaal of gedeeltelijk? Leg je antwoord uit.
 - Wat zijn de receptoren als Mihai Neșu tijdens het douchen het water over de rechterkant van zijn lichaam voelt stromen? En wat zijn de conductoren?
 - Mihai Neșu kan zijn rolstoel besturen met zijn rechterarm. Welk type uitlopers geleiden impulsen naar spieren in zijn hand?

CONTEXT

Wetenschap / Leefwereld

Breinbeeldtechniek: fMRI

▼ **Afb. 39** Driedimensionaal beeld.



Bij fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) wordt een scan gemaakt van de hersenen waarbij de hersenactiviteit wordt weergegeven in een driedimensionaal beeld op een beeldscherm (zie afbeelding 39). Wetenschappers en onderzoekers kunnen zo nagaan welke gebieden van de hersenen betrokken zijn bij het verrichten van bepaalde taken zoals praten, een hand bewegen en naar foto's kijken.

Om een fMRI te kunnen maken, gaat een persoon op een tafel liggen. Hij krijgt een headcoil om zijn hoofd, een koptelefoon op en een knoppenkast in zijn hand. De tafel wordt dan in de tunnel van een MRI-scanner geschoven. Dat is een holle, cilindrische magneet. Op de headcoil is een spiegeltje bevestigd waarmee de persoon door de tunnel naar buiten kan kijken. Daar ziet hij een scherm waarop beelden worden geprojecteerd. Met behulp van de knoppenkast kan hij reageren op de geluiden en beelden die worden aangeboden. Wanneer de activiteit in zijn hersenen toeneemt, is dat op een beeldscherm te zien.

opdracht

- 31** fMRI heeft een groot voordeel in vergelijking met ander hersenonderzoek. Met betrekkelijk weinig ongemak voor de patiënt krijgen artsen en wetenschappers een goed beeld van de hersenschors in actieve toestand.
- a** Leg uit op welke manieren fMRI van belang kan zijn voor artsen en wetenschappers.
 - b** Welke centra in de hersenschors vertonen activiteit in afbeelding 39?
 - c** Verklaar hoe de activiteit in de hersenschors kan worden gemeten en zichtbaar kan worden gemaakt.
 - d** Bij RS-fMRI (resting state fMRI) wordt de activiteit van de hersenen gemeten terwijl er geen taak wordt uitgevoerd. Wetenschappers kunnen het resultaat van een RS-fMRI-scan van een gezonde persoon vergelijken met die van een persoon met een neurologische aandoening, zoals dementie. Wat is het doel hiervan?

Leerdoelen

- Je kunt de functie van reflexen en een reflexboog beschrijven.
- Je kunt de werking van het autonome (of vegetatieve) zenuwstelsel beschrijven.

4 Reflexen en het autonome zenuwstelsel

Met je ogen knipperen, niezen, slikken: je doet het zonder er bij na te denken. Het zijn aangeboren reacties op uitwendige prikkels. Hoe komen deze onbewuste reacties tot stand en wat is het nut ervan?

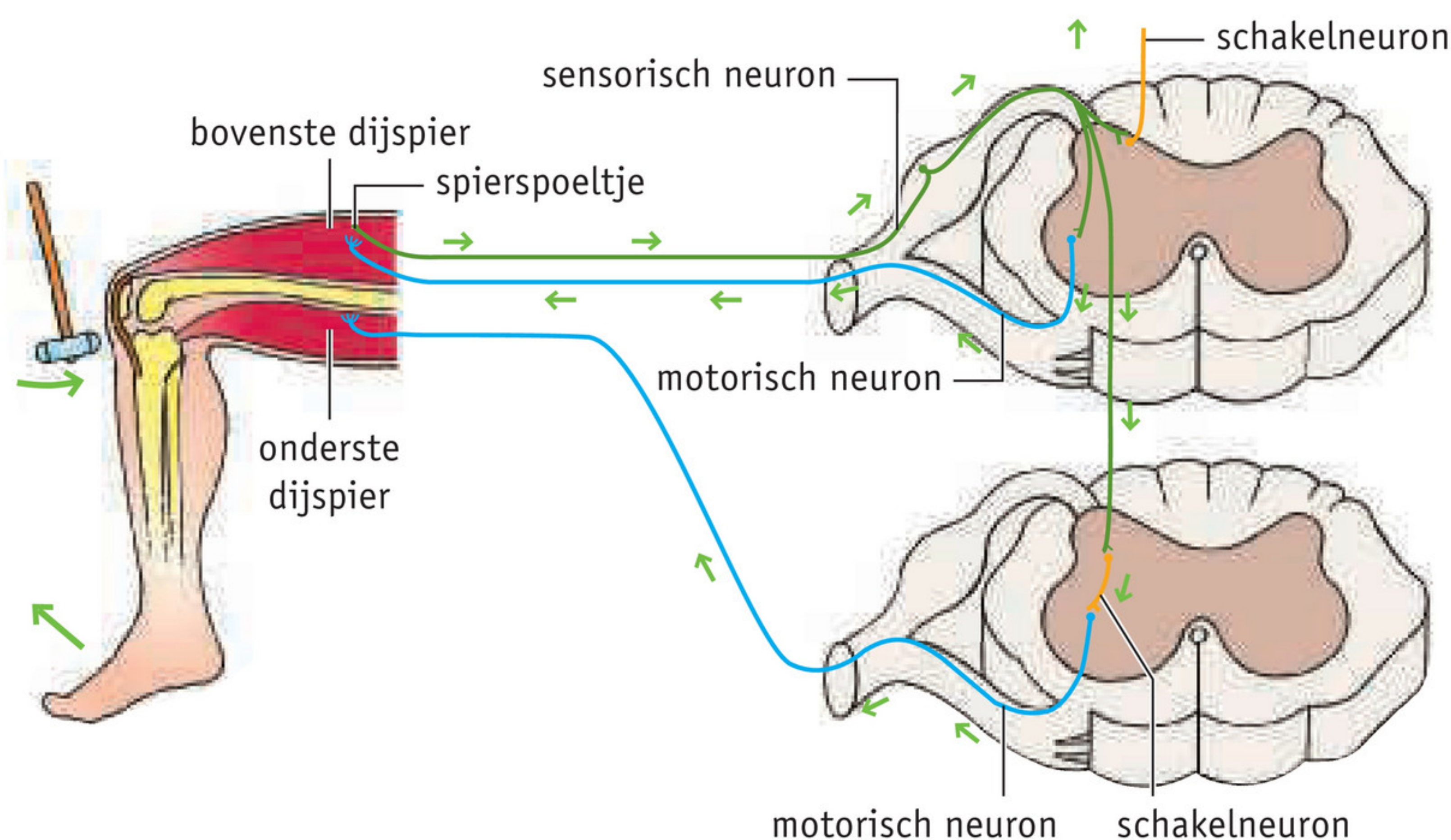
BEWUSTE EN ONBEWUSTE REACTIES

Het animale zenuwstelsel regelt vooral bewuste reacties. Bij een beweging die je bewust wilt maken, ontstaan er impulsen in bewegingscentra van de grote hersenen. Deze impulsen gaan via schakelneuronen naar cellen in de kleine hersenen en vervolgens naar schakelneuronen in de hersenstam en het ruggenmerg. Vanaf daar gaan de impulsen via motorische neuronen naar spieren waardoor deze samentrekken en je een beweging maakt. Het animale zenuwstelsel is ook verantwoordelijk voor onbewuste reacties. Je zintuigen verwerken voortdurend allerlei prikkels uit je omgeving, waar je je niet bewust van bent.

► PRACTICUMOPDRACHT 3**REFLEXEN**

Door met een hamertje of de zijkant van je hand een tik te geven tegen de aanhechtingsplaats van de kniepees onder je knieschijf, wipt het onderbeen omhoog. De reactie van je onderbeen op de tik is een voorbeeld van een reflex. Een **reflex** is een vaste, snelle, onbewuste reactie op een bepaalde prikkel. Door de tik op de kniepees rekt de bovenste dijspier (de strekspier) een klein beetje uit. Zintuigcellen in de dijspier (spierspoeltjes) meten de spanning in de spier. Door uitrekking van de spier worden de spierspoeltjes geprikkeld en ontstaan er impulsen die via sensorische neuronen naar het ruggenmerg worden geleid (zie afbeelding 40). Daar vertakken de uitlopers van de sensorische neuron en het ene deel van de vertakkingen geleidt impulsen naar motorische neuron. Deze geleiden op hun beurt weer impulsen naar de bovenste dijspier, waardoor deze samentrekt. Het andere deel van de vertakkingen geleidt impulsen naar schakelneuronen in een lager deel van het ruggenmerg. Deze geleiden impulsen naar motorische neuron om te verhinderen dat die impulsen naar de onderste dijspier (de buigspier) geleiden. Hierdoor ontspant deze spier.

► **Afb. 40** De weg van impulsen bij de kniepeesreflex.



Via schakelneuronen gaan er ook impulsen naar de hersenen. Hierdoor word je je kort na de tik bewust van de tik en van je reactie.

Bij de meeste reflexen zijn de sensorische neuron alleen via schakelneuronen verbonden met motorische neuron. De impulsgeleiding bij de kniepeesreflex is bijzonder, doordat sensorische neuron via een deel van de vertakkingen van de uitlopers direct zijn verbonden met motorische neuron.

De weg die impulsen bij een reflex afleggen, noem je een **reflexboog**. Een reflexboog bestaat uit een receptor, conductoren in het zenuwstelsel en een effector. De reflexbogen van hoofd en hals verlopen via de hersenstam. De reflexbogen van romp en ledematen verlopen via het ruggenmerg. De grote hersenen maken geen deel uit van reflexbogen. Wel komen bij reflexen ook impulsen in de grote hersenen aan.

Sommige reflexen zijn betrokken bij het beschermen van je lichaam. Een voorbeeld hiervan is de terugtrekreflex, die optreedt als je met je hand een heet voorwerp aanraakt. De meeste reflexen hebben een functie bij de handhaving van bepaalde houdingen van je lichaam en bij bewegingen. Voorbeelden van reflexen zijn de hoestreflex, de slikreflex, de pupilreflex, de ooglidreflex, de voetzoolreflex en de zuigreflex.

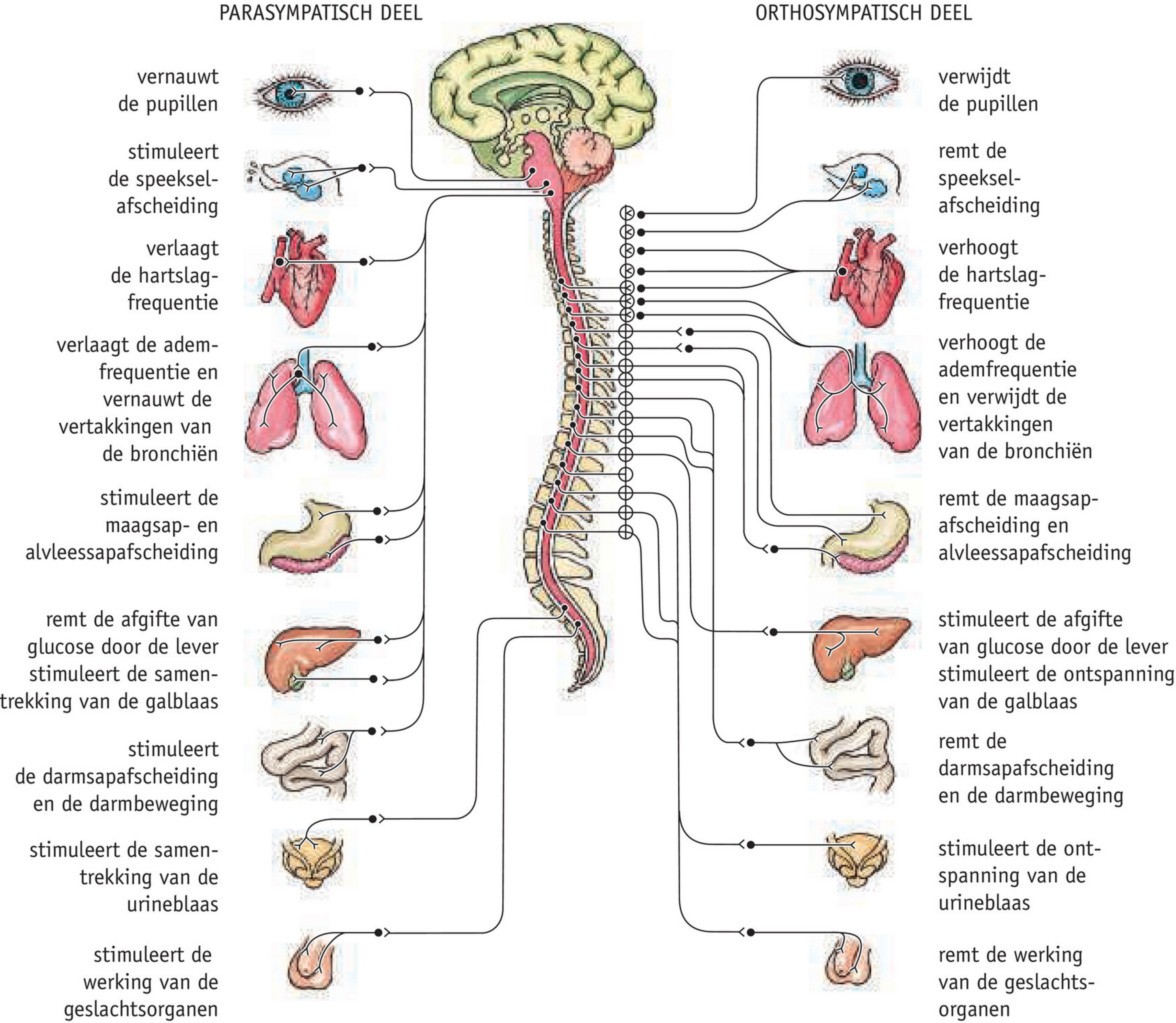
opdrachten

- 32** Iemand duwt je. Je voelt de duw, kijkt opzij en duwt terug.
- a** Is deze handeling een bewuste reactie of een reflex? Leg je antwoord uit.
 - b** Beschrijf de weg waarlangs bij deze handeling impulsen naar de primaire gevoelscentra in de grote hersenen worden geleid.
 - c** Wat is bij deze handeling de functie van de primaire gevoelscentra in de grote hersenen? En wat is de functie van de secundaire gevoelscentra?
 - d** Wat is bij deze handeling de functie van de primaire en secundaire bewegingscentra in de grote hersenen?
- 33** Julia trapt in een punaise. Hierop volgt een reflex: zij trekt haar been omhoog.
- a** Beschrijf de reflexboog van impulsen die door neuron worden geleid.
 - b** Wat zijn bij deze reflexboog de conductoren, receptoren en effectoren?
- 34** Kan bij Mihai Neșu (zie opdracht 30) de kniepeesreflex nog plaatsvinden?
- a** Leg je antwoord uit.
 - b** Kan Mihai Neșu de tik tegen de kniepees nog voelen? Leg je antwoord uit.
- 35** Reflexen kun je onderdrukken. Een hete lepel laat je bijvoorbeeld vallen, maar een hete pan soep niet zo snel.
- a** Leg uit hoe je zenuwstelsel een reflex kan onderdrukken.
 - b** Wanneer je een operatie aan je voet ondergaat, kan dat onder plaatselijke verdoving. Je blijft dan bij bewustzijn maar voelt de pijn niet. De bekendste vorm is de ruggenprik. Door een vloeistof om het ruggenmerg te spuiten, worden de sensorische en motorische neuron in het onderlichaam verdoofd.
Is het mogelijk dat je je voet in een reflex terugtrekt tijdens de operatie als je een ruggenprik hebt gekregen? Leg je antwoord uit.
 - c** Is het mogelijk dat je tijdens de operatie je voet bewust terugtrekt? Leg je antwoord uit.

HET AUTONOME ZENUWSTELSEL

Het autonome (of vegetatieve) zenuwstelsel staat niet onder invloed van de wil. Het werkt nauw samen met het hormoonstelsel en regelt onder andere de werking van de spieren van inwendige organen en klieren. Het autonome zenuwstelsel kun je onderverdelen in het orthosympatische deel en het parasympatische deel (zie afbeelding 41). Deze delen hebben een tegengestelde werking. Ze werken samen om de homeostase in het lichaam te handhaven. Beide delen van het autonome zenuwstelsel zijn steeds actief. Het hangt van de omstandigheden af welk deel op een bepaald moment de sterkste activiteit vertoont. Bepaalde centra in de hersenstam coördineren de activiteiten van het autonome zenuwstelsel. Het **orthosympatische deel** beïnvloedt de organen op zo'n manier dat het lichaam activiteiten kan verrichten waar energie voor nodig is. Door verbranding te bevorderen wordt energie vrijgemaakt. Impulsen vanuit het orthosympatische deel verhogen de hartslagfrequentie, verwijden de bloedvaten naar de skeletspieren, zetten de lever aan om glycogeen om te zetten in glucose, verhogen de ademfrequentie en verwijden de vertakkingen van de bronchiën. Het orthosympatische deel remt de organen van het verteringsstelsel en de nieren in hun werking.

▼ Afb. 41 Het autonome zenuwstelsel.



Het **parasympatische deel** beïnvloedt de organen zodat het lichaam in een toestand van rust en herstel kan komen. Het bevordert de stofwisseling. De energie die daarbij nodig is, wordt vastgelegd in de organische stoffen die worden gevormd. Impulsen vanuit het parasympatische deel stimuleren de productie van verteringssappen, de darmbeweging, de omzetting van glucose in glycogeen in de lever, de verwijding van de bloedvaten naar het verteringsstelsel en de werking van de nieren. Ze verlagen onder andere de hartslag- en de ademfrequentie.

INNERVEREN

Alle organen in je lichaam zijn verbonden met zenuwen die de organen door impulsen kunnen beïnvloeden. Dit noem je **innerveren**. Een orgaan dat door een bepaald deel van het centrale zenuwstelsel wordt beïnvloed, is het **doelwitorgaan**. Elk doelwitorgaan wordt geïnnerveerd door twee zenuwen van het autonome zenuwstelsel: een orthosympatische en een parasympatische zenuw. Je noemt dit **dubbele innervatie**. Hierdoor kan de werking van een orgaan worden gestimuleerd of geremd.

opdrachten

- 36 Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 88B).
- a Welk deel van het autonome zenuwstelsel is 's nachts het meest actief? Leg je antwoord uit.
 - b In stresssituaties geeft de hypothalamus impulsen af die via het ruggenmerg aankomen in het bijniermerg. Het bijniermerg geeft vervolgens adrenaline af. Welk deel van het autonome zenuwstelsel is hier actief? Leg je antwoord uit.
 - c Tot welk deel van het zenuwstelsel behoort een motorisch neuron dat deel uitmaakt van de reflexboog waardoor je je hand terugtrekt als je iets heets aanraakt: tot het animale of tot het autonome (vegetatieve) zenuwstelsel? Leg je antwoord uit.
 - d Behoort een neuron dat is verbonden met een zweetklier tot het animale zenuwstelsel of tot het autonome zenuwstelsel? Leg je antwoord uit.
 - e Bevinden zich in je arm uitlopers van het autonome zenuwstelsel? Leg je antwoord uit.
- 37 Een neuron dat behoort tot het parasympatische deel van het autonome zenuwstelsel is verbonden met spierweefsel in de darmwand. Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 88L).
- a In welke situatie is de impulsfrequentie in dit neuron het hoogst: als je hardloopt of als je na een maaltijd een film bekijkt? Leg je antwoord uit.
 - b Wat gebeurt er met je hartslagfrequentie als je medicijnen slikt die het parasympatische deel van het autonome zenuwstelsel remmen? Leg je antwoord uit.

CONTEXT

Beroep

Aangeboren reflexen

▼ Afb. 42 Moro-reflex.



Roos is verloskundige en vertelt: ‘Baby’s hoeven vaak niet te leren hoe iets moet. Ze kunnen het meteen, want ze komen ter wereld met een aantal nuttige, aangeboren reflexen. Door de zoekreflex draait een baby zijn hoofd automatisch in de richting van iets warmes en zachts dat zijn wang raakt, zoals de warme borst van zijn moeder. Wanneer een baby de tepel vindt met zijn mond, treedt de zuigreflex in werking. Een baby kan enorm krachtig zuigen aan de tepel om aan melk te komen. Door de slikreflex kan de baby melk doorslikken. Baby’s hebben ook reflexen die geen functie lijken te hebben. Als je een baby vlak na de geboorte onder de oksels oppakt en met de voetjes een ondergrond laat aanraken, tilt hij eerst één beentje op en daarna het tweede beentje. Deze loopreflex vertoont een baby na vier weken niet meer. Wanneer je op het open handje van een baby duwt, knijpt hij zijn handje stevig dicht. De voetzoolreflex levert ook een soort grijpeffect op. Door op de voetzool te drukken, krullen de tenen om. Zodra een baby schrikt of het gevoel heeft dat hij valt, treedt de Moro-reflex op. De baby ademt snel in, strekt zijn armpjes en beentjes wijd en spreidt de handen en vingers (zie afbeelding 42). Daarna klemt hij zijn armpjes voor zijn borst alsof hij iemand wil vastgrijpen.’

opdracht

- 38 a Noteer twee redenen waarom een verloskundige de reflexen bij een pasgeboren baby test.
- b De meeste aangeboren reflexen van een baby verdwijnen na ongeveer drie maanden.
Leg uit waarom het beter is dat de meeste aangeboren reflexen na een tijdje verdwijnen.
- c Een deel van de aangeboren reflexen van baby’s lijkt geen duidelijke functie meer te hebben voor de moderne mens.
Welk nut hadden de grijpreflex, de voetzoolreflex en de Moro-reflex in de periode dat (behaarde) moeders hun kind ronddroegen en ze af en toe hun handen vrij moesten hebben om voedsel te zoeken?

Leerdoelen

- Je kunt beschrijven hoe impulsgeleiding plaatsvindt.
- Je kunt beschrijven hoe impulsoverdracht plaatsvindt.

5 Neurale regulatie

Bij mensen met ADHD blijken bepaalde neurotransmitters in verminderde hoeveelheid voor te komen in het voorste gedeelte van de hersenen. Hoe kan dit hun gedrag beïnvloeden?

RUSTPOTENTIAAL

Het zenuwstelsel maakt communicatie mogelijk tussen zintuigcellen en neuronen, tussen neuronen onderling en tussen neuronen en spieren en klieren. Dat gebeurt door de afgifte van neurotransmitters en impulsgeleiding. Positief en negatief geladen deeltjes vormen de basis voor impulsgeleiding.

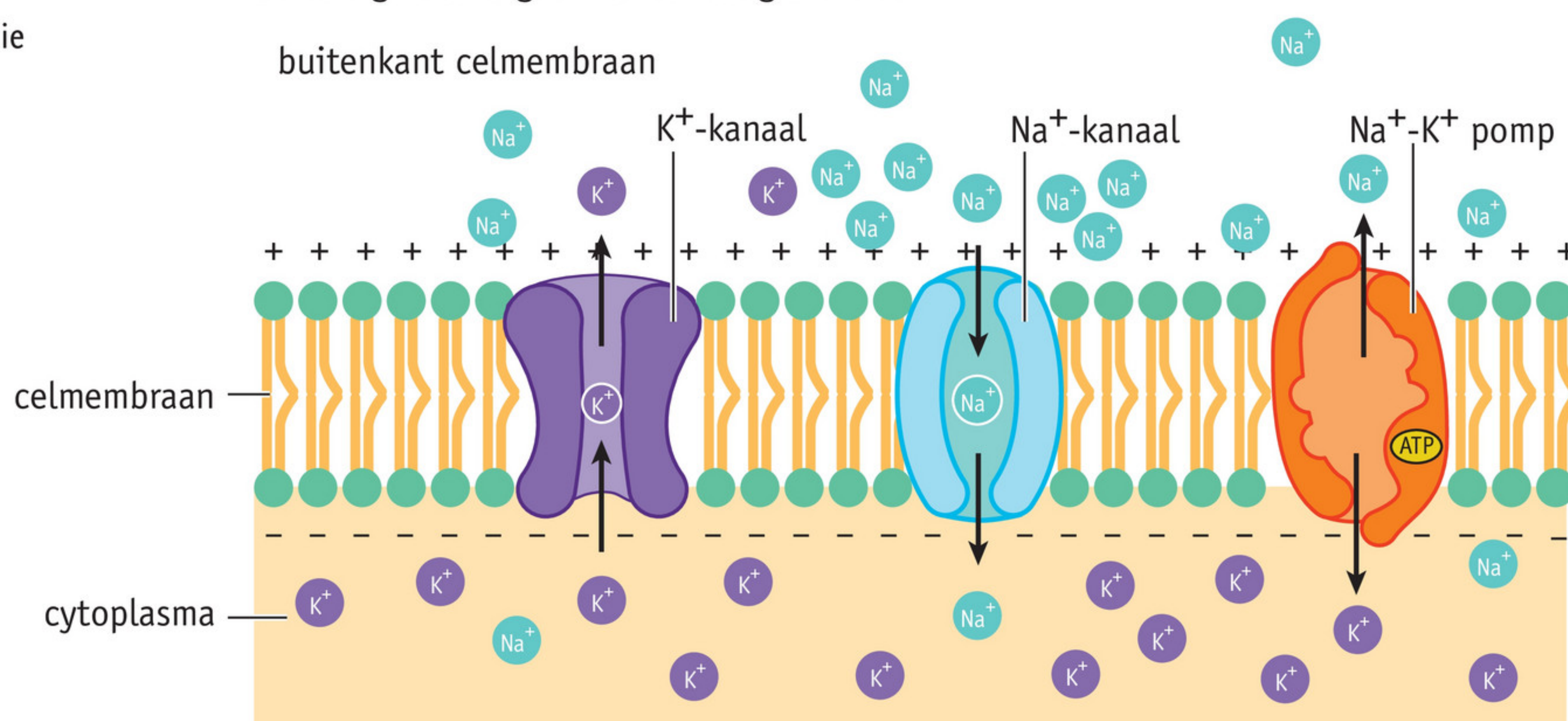
In alle cellen, dus ook in neuronen, bevinden zich in rust in het cytoplasma relatief veel positief geladen kalium ionen (K^+). Buiten de cel, in de intercellulaire ruimte, bevinden zich relatief veel positief geladen natrium ionen (Na^+), zie **Binas** tabel 88D.

De ionen binnen en buiten de cel worden gescheiden door het celmembraan. Daarin zitten kleine openingen: kalium- en natriumkanalen (zie afbeelding 43). Kaliumionen kunnen door kaliumkanalen de cel in- of uitstromen, natriumionen door natriumkanalen. Omdat er veel meer kaliumionen in de cel zijn dan daarbuiten, stromen er continu kaliumionen naar buiten. Omdat er veel meer natriumionen buiten de cel zijn dan binnen, stromen er continu natriumionen de cel binnen. De natriumkanalen zijn alleen veel moeilijker te passeren dan de kaliumkanalen. Hierdoor ontstaat er aan de buitenkant van de cel, dicht bij het membraan, een kleine ophoping van natriumionen die de cel proberen binnen te komen. Samen met de naar buiten gestroomde kaliumionen veroorzaken ze een positieve lading. Aan de binnenkant van het membraan is er een relatief tekort aan positieve ionen (die zijn naar buiten gestroomd), dus daar ontstaat een negatieve lading. De ladingen veroorzaken een kleine spanning over het membraan. De spanning over het membraan van een neuron noem je de membraanpotentiaal. In rust is de membraanpotentiaal -70 mV. Dit noem je de **rustpotentiaal**.

Als er verder niets zou gebeuren, zou de spanning over het membraan alleen maar tijdelijk aanwezig zijn. Na een tijdje zouden er namelijk door het stromen van de ionen net zoveel kaliumionen en natriumionen in de cel zijn als daarbuiten.

Natrium-kaliumpompen In het celmembraan werken deze stromen echter tegen. Ze pompen kaliumionen de cel in en natriumionen de cel uit. Op deze manier houden ze het evenwicht en de rustpotentiaal in stand. Dit kost wel veel energie. Zelfs als je niets doet, gaat een kwart van je energie die je verbruikt naar deze natrium-kaliumpompen. De energie wordt vooral in de hersenen en de nieren gebruikt. De benodigde energie is afkomstig uit ATP.

► **Afb. 43** De ionenconcentratie tijdens de rustpotentiaal.



IMPULSGELEIDING

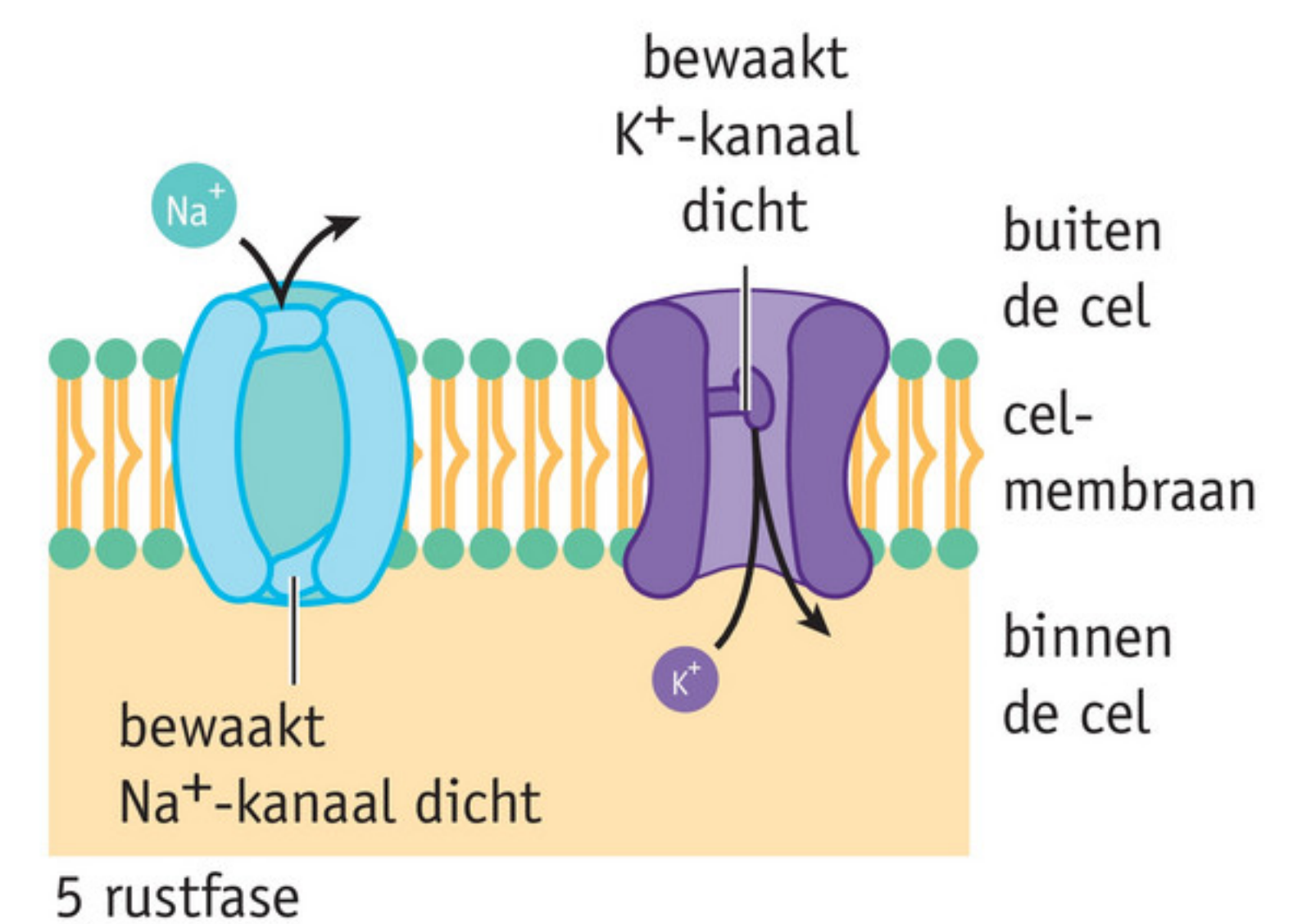
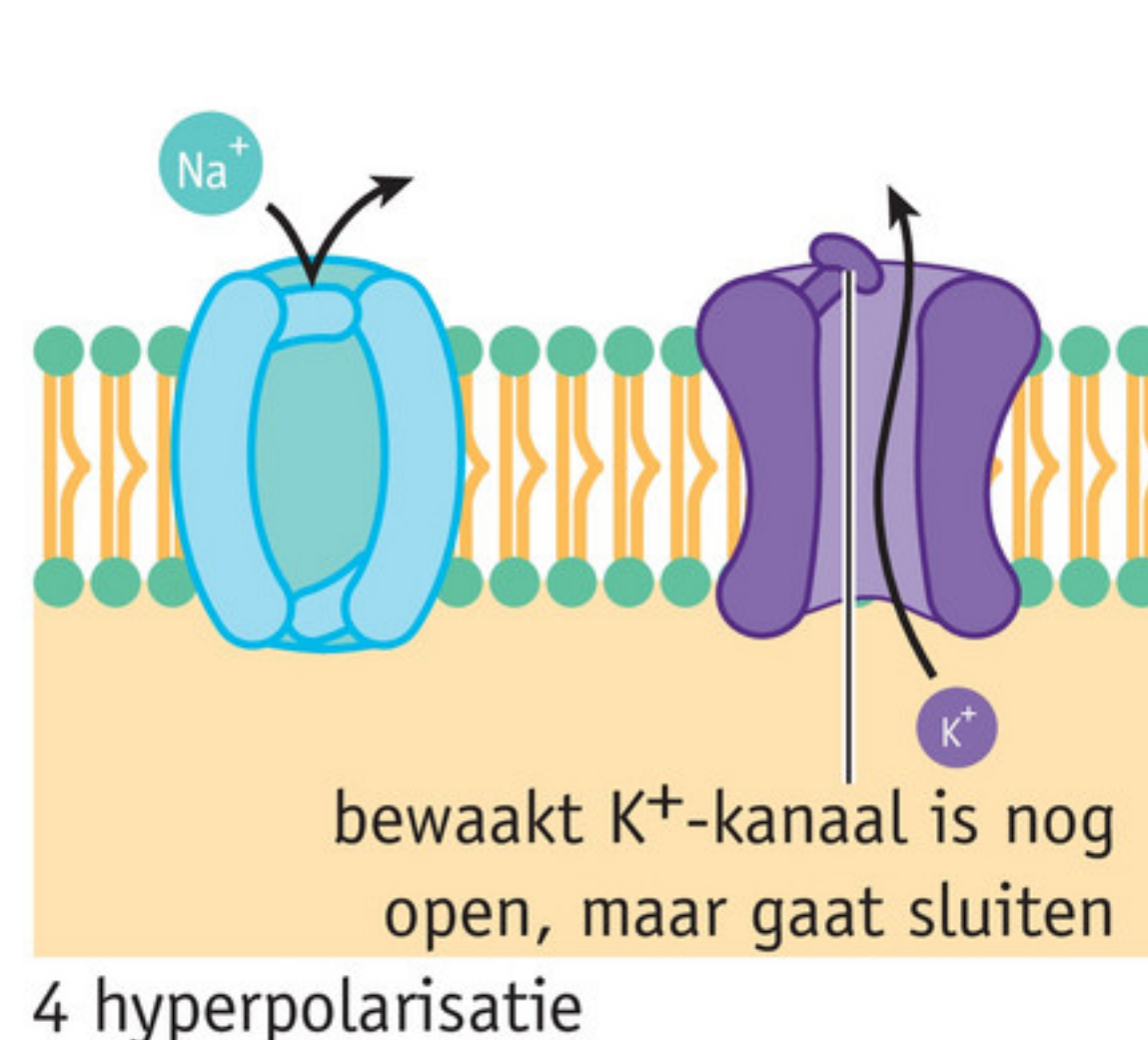
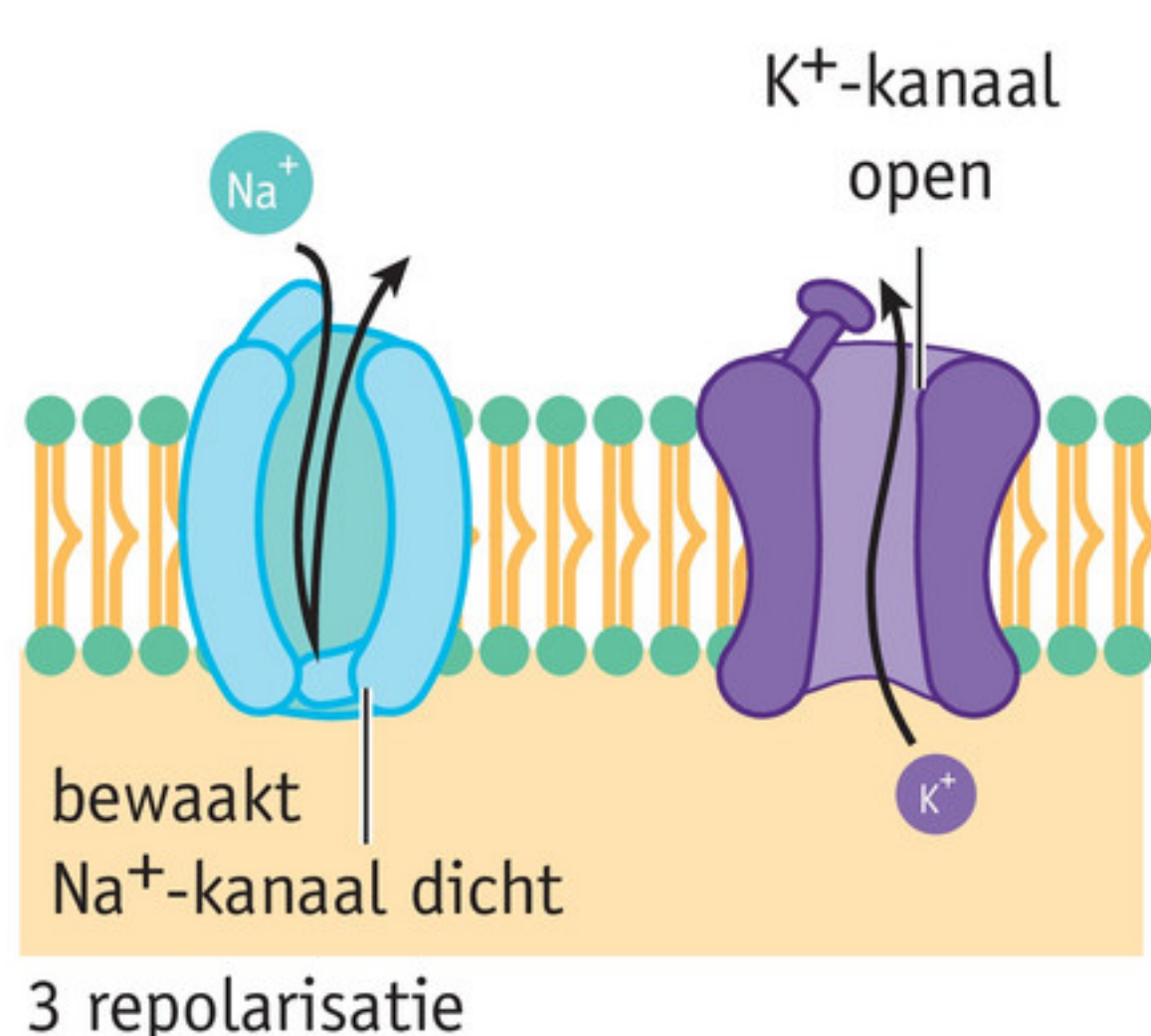
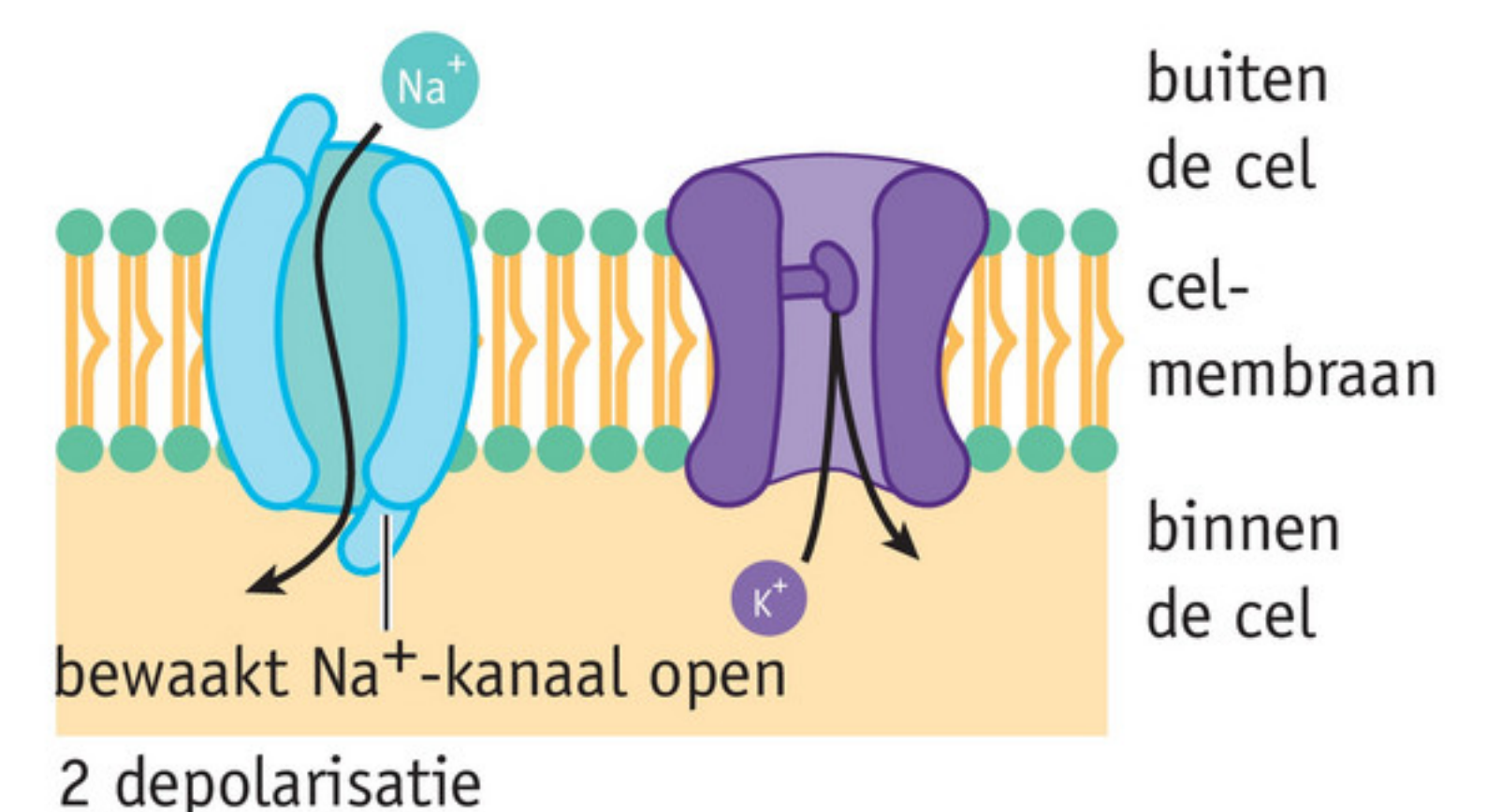
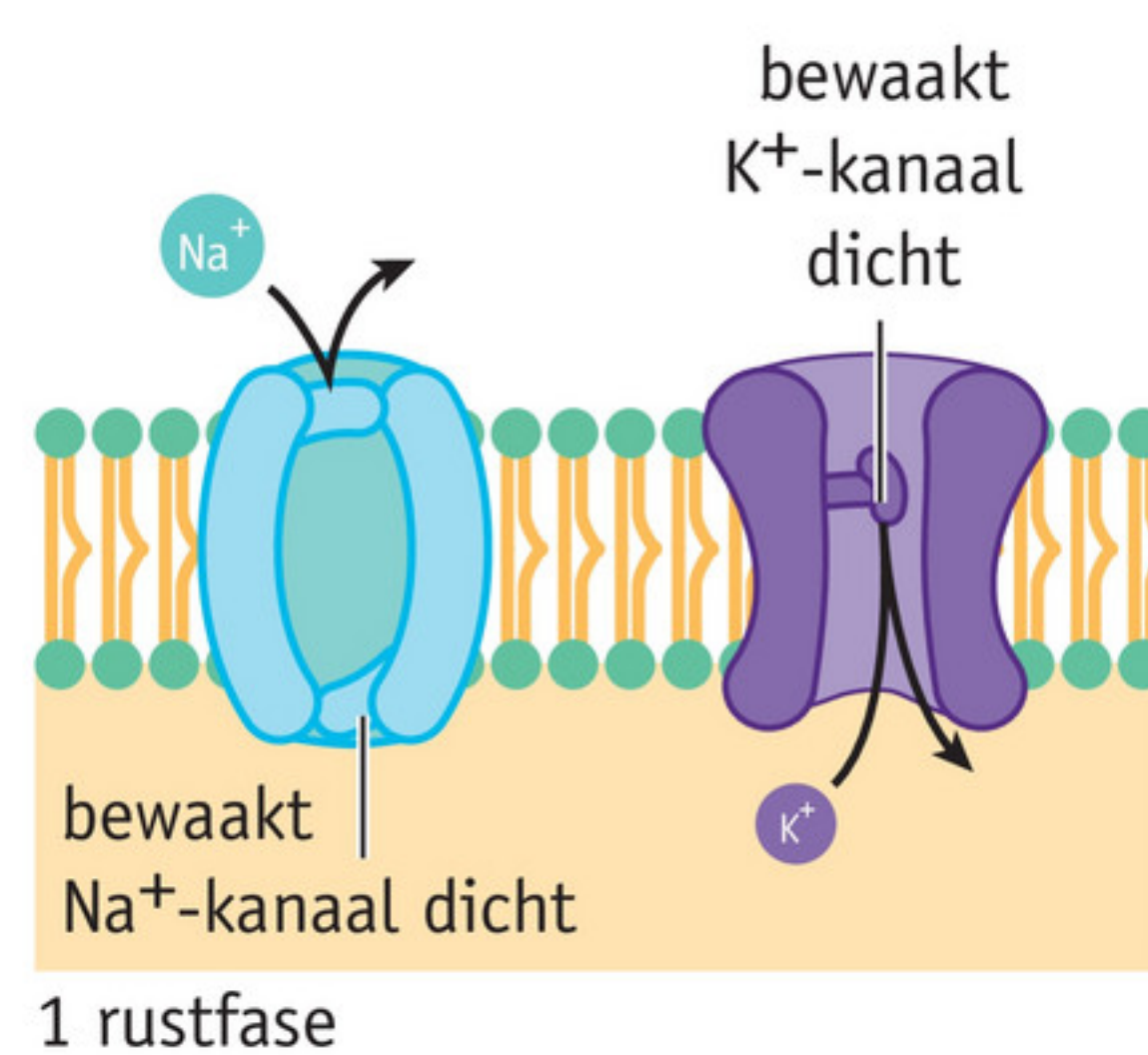
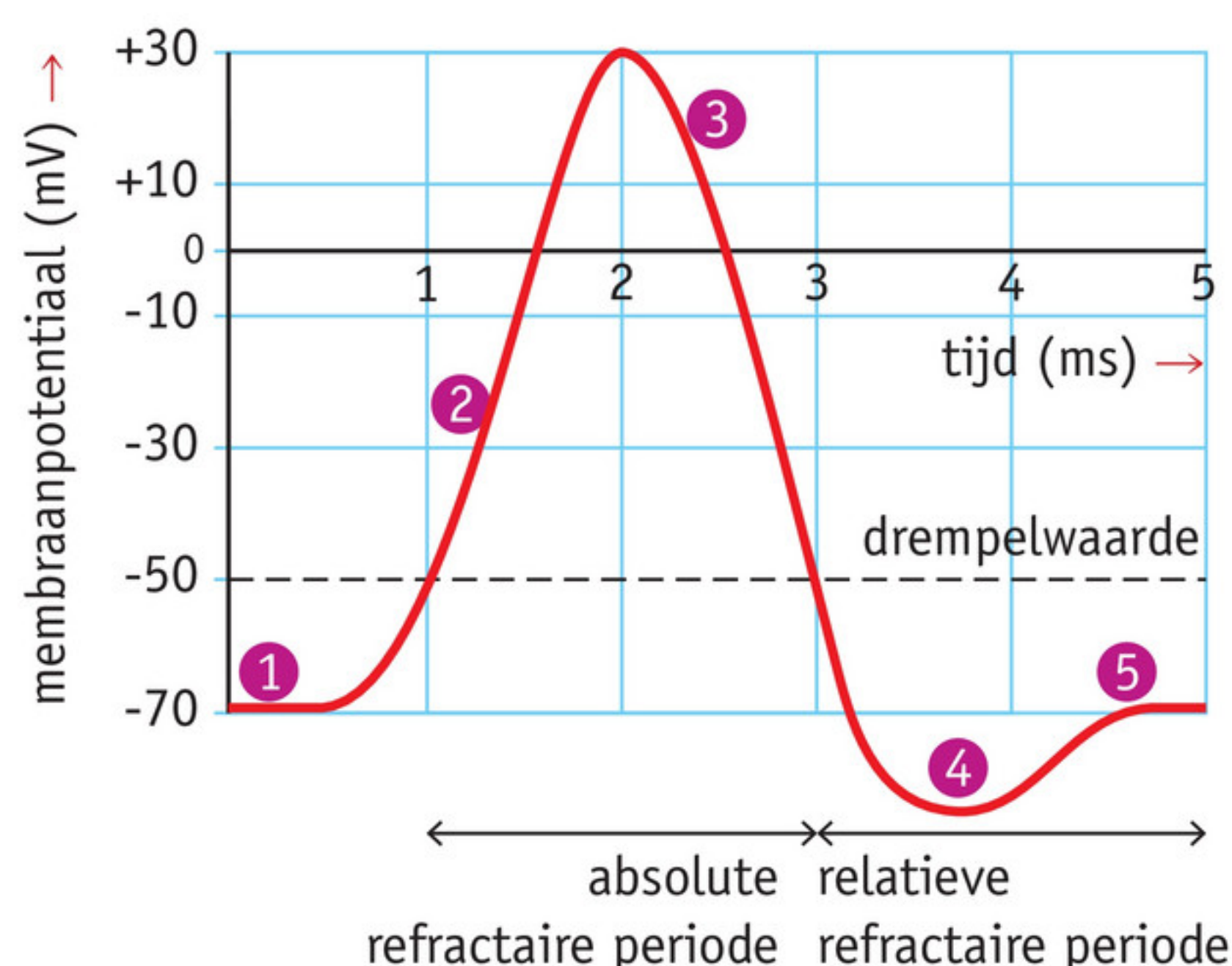
Door het binden van neurotransmitters of door het toedienen van een prikkel op een bepaalde plaats van het celmembraan, wordt de membraanpotentiaal minder negatief. Het minder negatief worden van de membraanpotentiaal noem je **depolarisatie** (zie afbeelding 44).

Een neuron reageert pas echt op een prikkel als de membraanpotentiaal afneemt tot -50 mV , de drempelwaarde. Dan ontstaat er een impuls of **actiepotentiaal**. Hierbij speelt nog een andere soort kanalen in het membraan een rol: de bewaakte natrium- en kaliumkanalen. Bij een membraanpotentiaal van -50 mV gaan de bewaakte natriumkanalen open. Het is alsof er een grote poort wordt opengezet en daardoor stromen er binnen 1 ms zoveel natriumionen naar binnen dat het cytoplasma dicht bij het membraan positiever wordt dan de intercellulaire vloeistof. De membraanpotentiaal stijgt nu tot $+30\text{ mV}$.

Bij $+30\text{ mV}$ sluiten de bewaakte natriumkanalen zich weer en vervolgens gaan de bewaakte kaliumkanalen open. Er stroomt dan in 1 ms veel kalium de cel uit. De concentratie positieve ionen dichtbij het membraan aan de binnenkant van de cel wordt daardoor weer kleiner dan aan de buitenkant. De membraanpotentiaal wordt daardoor weer negatief. Dit deel van de actiepotentiaal noem je de **repolarisatie**.

Na de repolarisatie blijven de bewaakte kaliumpoorten nog even open staan, waardoor de membraanpotentiaal negatiever dan -70 mV wordt. Dit noem je de **hyperpolarisatie**. De natrium-kaliumpompen herstellen het oorspronkelijke evenwicht dat er was toen het neuron in rust was. De hyperpolarisatie duurt ongeveer 2 ms , daarna is de membraanpotentiaal weer -70 mV . Tijdens de repolarisatie zijn de bewaakte natriumkanalen niet actief en kunnen er geen nieuwe impulsen ontstaan. Tijdens de hyperpolarisatie kunnen er wel nieuwe impulsen ontstaan, maar alleen bij een extra grote prikkel (zodat de drempelwaarde van -50 mV wordt gehaald). De periode waarin er geen nieuwe impuls kan ontstaan (vanaf het overschrijden van de drempelwaarde van -50 mV tot en met de repolarisatie) noem je de **absolute refractaire periode**. De periode waarin een impuls alleen bij een extra grote prikkel kan ontstaan (tijdens de hyperpolarisatie) noem je de **relatieve refractaire periode**.

▼ **Afb. 44** Het ontstaan van een actiepotentiaal.



IMPULSTERKTE EN IMPULSFREQUENTIE

De omzetting van een prikkel in een impuls gebeurt volgens het **alles-of-nietsprincipe**. Bij een heel zwakke prikkel kan een neuron het verschil in elektrische lading van het celmembraan handhaven. De drempelwaarde van -50 mV wordt dan niet gehaald, waardoor de bewaakte natriumkanalen niet opengaan. Deze drempelwaarde noem je de **prikkeldrempel**. Dit is de kleinste sterkte van een prikkel die een impuls veroorzaakt.

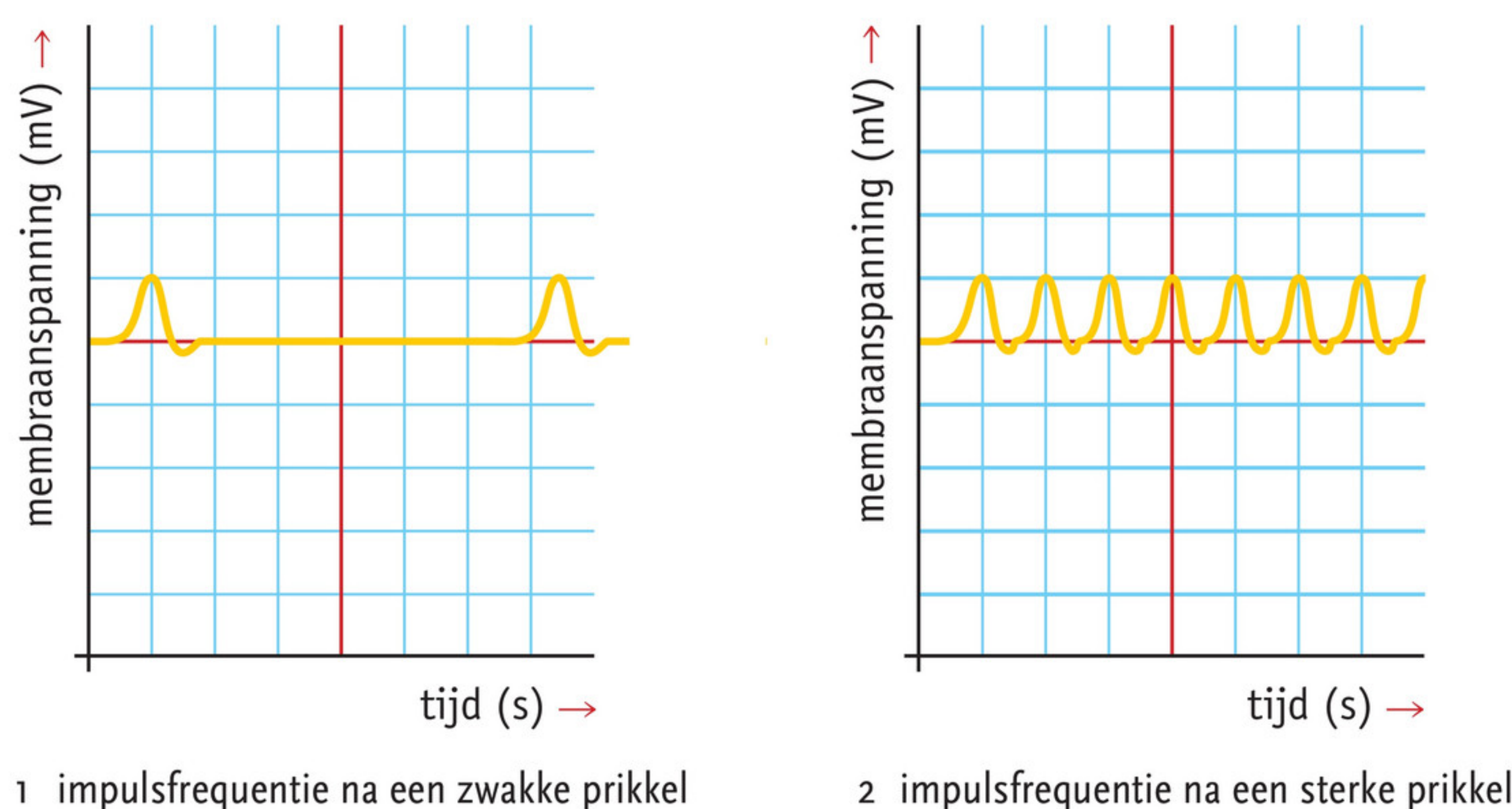
Als een prikkel sterk genoeg is, gaan de bewaakte natriumkanalen open waardoor er een impuls ontstaat in het neuron.

De grootte van de verandering die optreedt in de spanning over het celmembraan, is de **impulssterkte**. De impulssterkte is voor alle neuronen gelijk. Er is bijvoorbeeld geen verschil tussen de impulssterkte in een motorisch neuron in je linkerbeen en de impulssterkte in een sensorisch neuron in je linkerarm.

Zintuigcellen verwerken prikkels die in sterkte kunnen verschillen. Een geluid kan bijvoorbeeld hard of zacht zijn. Door een sterkere prikkel ontstaan er meer impulsen. Het aantal impulsen dat een neuron per tijdseenheid geleidt (bijvoorbeeld per seconde), is de **impulsfrequentie**. Wanneer je oren een hard geluid opvangen, worden veel impulsen per seconde door de sensorische neuronen in je gehoorzenuwen geleid. De impulsfrequentie is dan hoog. Wanneer je oren een zacht geluid opvangen, is de impulsfrequentie laag. Hoe sterker de prikkel, hoe hoger de impulsfrequentie is (zie afbeelding 45).

Ook in motorische neuronen kan de impulsfrequentie variëren. Hoe hoger de impulsfrequentie in motorische neuronen, hoe krachtiger de samentrekking van spieren of hoe groter de afgifte van stoffen door klieren.

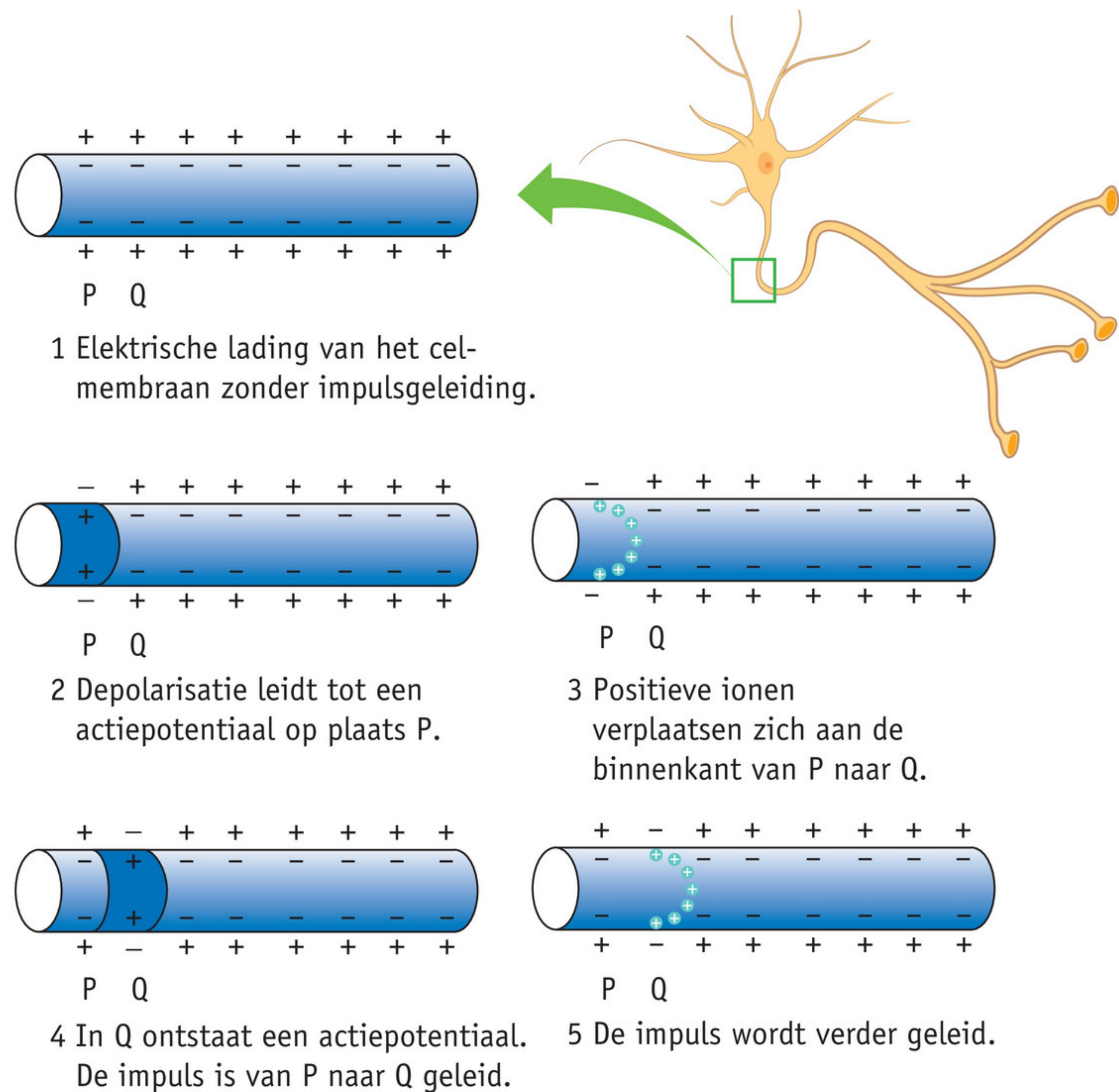
► **Afb. 45** Impulsgeleiding in een neuron.



IMPULSGELEIDING IN EEN ONGEMYELINISEERDE NEURONUITLOPER

Afbeelding 46 geeft weer hoe een ongemyeliniseerde neuronuitloper een impuls geleidt. Afbeelding 46.1 stelt de uitloper in rust voor. In afbeelding 46.2 is de elektrische lading van plaats P veranderd waardoor daar een actiepotentiaal ontstaat. Tijdens de actiepotentiaal stromen er op plaats P veel Na^+ ionen de cel binnen. Positieve deeltjes stoten elkaar af, dus de ionen verspreiden zich zijwaarts door het neuron, onder andere in de richting van Q. Ook op plaats Q veroorzaken de positieve ionen nu depolarisatie, waardoor de drempelwaarde wordt gehaald en de bewaakte natriumkanalen opengaan. Er is een actiepotentiaal ontstaan op plaats Q. De impuls verplaatst zich van plaats P naar Q. Hierna geleidt de impuls vanaf plaats Q op dezelfde manier verder langs het celmembraan.

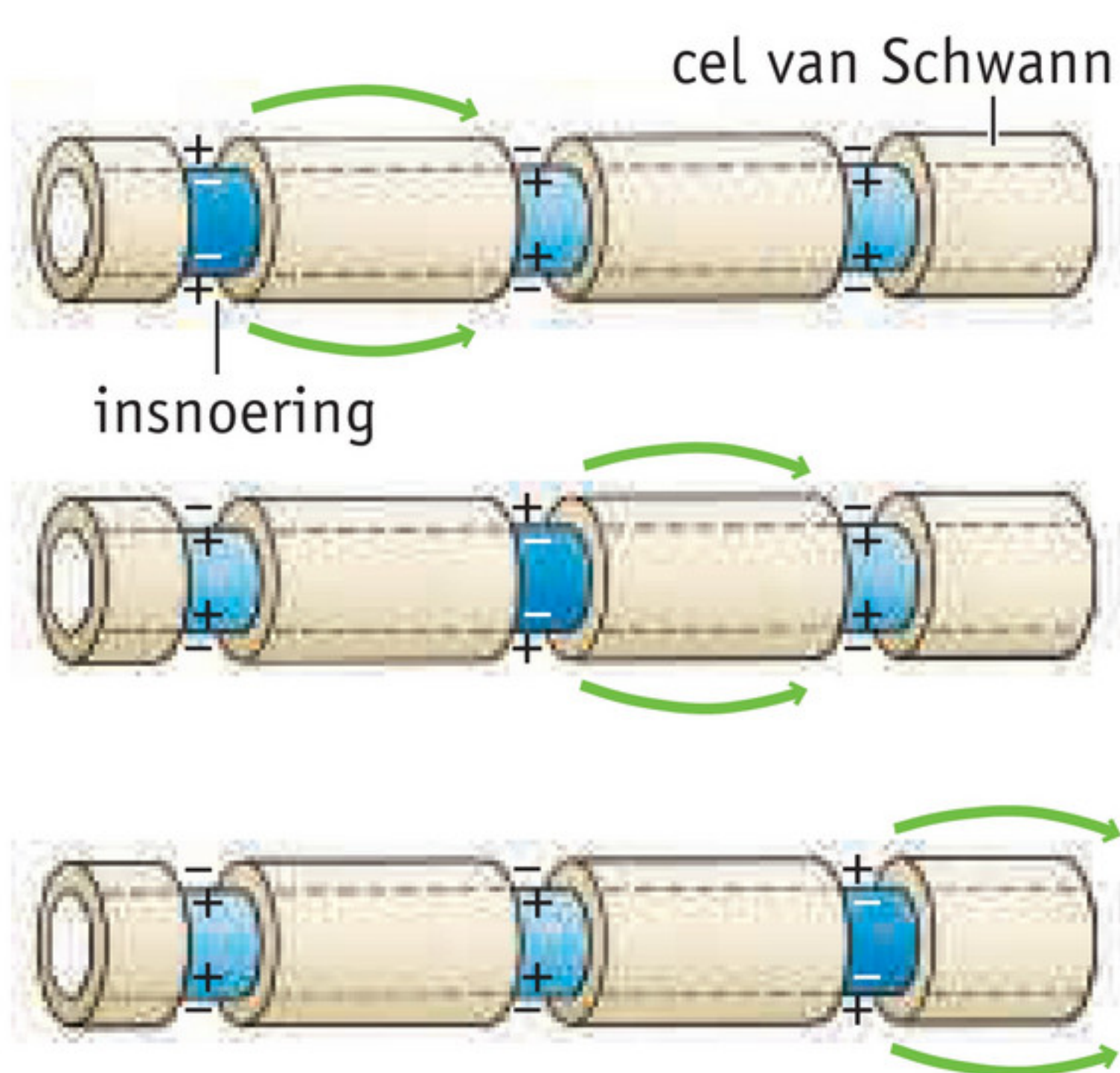
► **Afb. 46** Impulsgeleiding in een uitloper van een neuron (schematisch).



SALTATOIRE IMPULSGELEIDING

Bij een axon dat is omgeven door een myelineschede, kan alleen bij de insnoeringen ionentransport plaatsvinden. Daardoor kan alleen op deze plaatsen de elektrische lading van het celmembraan kort veranderen. Hierdoor 'springt' een impuls als het ware van insnoering naar insnoering. Je noemt deze manier van impulsgeleiding **saltatoire** of **sprongsgewijze impulsgeleiding** (zie afbeelding 47). Deze impulsgeleiding verloopt wel vijftig keer zo snel als de impulsgeleiding in een neuronuitloper zonder myelineschede.

▼ **Afb. 47** Saltatoire impulsgeleiding in een gemyeliniseerd axon.

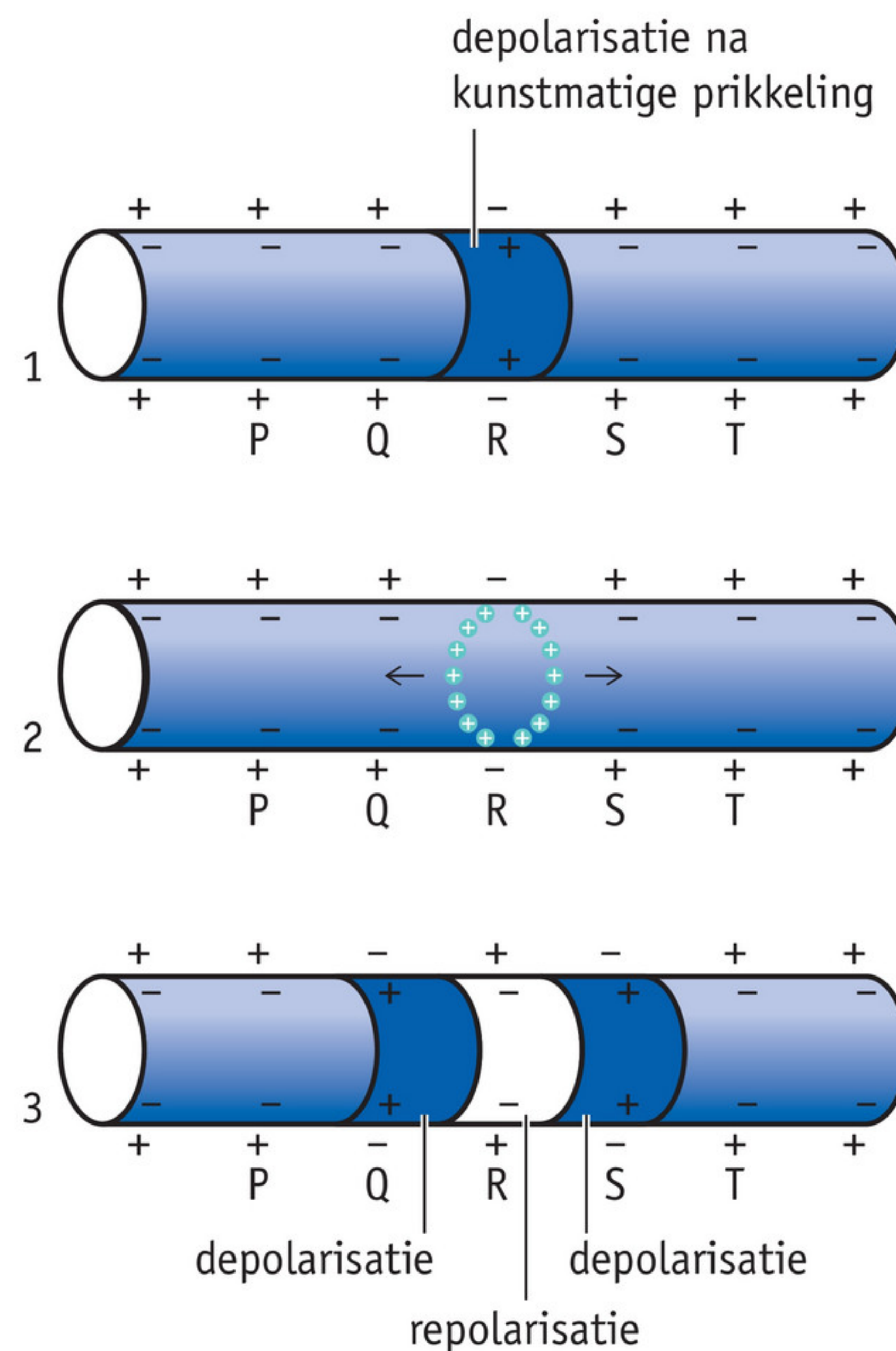


opdrachten

- 39 a Een neuron dat geen impuls geleidt, gebruikt toch energie. Leg dit uit.
 b Voor een bepaald neuron duren zowel de absolute als de relatieve refractaire periode 2 ms.
 Hoe groot is de maximale impulsfrequentie in dit neuron per seconde?
- 40 Je balt je rechtervuist.
 a Verandert hierdoor de impulssterkte in motorische neuronen in je rechterarm? Zo ja, hoe?
 b Verandert hierdoor de impulsfrequentie? Zo ja, hoe?
 c Je steekt in het donker een kaars aan.
 Wordt hierdoor de impulsfrequentie in de sensorische neuronen in je oogzenuwen verhoogd of verlaagd?

- 41 Bij mensen met MS (multiple sclerose) zijn de myelinscheden van axonen beschadigd en daardoor verloopt de impulsgeleiding veel langzamer. Leg dit uit.
- 42 Je kunt een uitloper van een neuron kunstmatig prikkelen, bijvoorbeeld met een microneald (mechanisch), door een stroomstoot toe te dienen (elektrisch) of door bepaalde stoffen op het celmembraan te laten inwerken (chemisch). Wanneer de toegediende prikkel sterk genoeg is, ontstaat er een actiepotential.
- a In afbeelding 48 zie je een kunstmatige prikkeling schematisch weergegeven. Waardoor kan de impuls in dit geval twee kanten op worden geleid? Noem twee redenen.

► **Afb. 48** Kunstmatige prikkeling van een uitloper van een neuron.



- b Aan een neuron worden kunstmatig prikkels met toenemende prikkelsterkte toegediend. De impulssterkte en de impulsfrequentie worden gemeten. In afbeelding 49 zijn de resultaten in diagrammen weergegeven. In welk diagram is het verband tussen prikkelsterkte en impulssterkte juist weergegeven?
- c In welk diagram is het verband tussen prikkelsterkte en impulsfrequentie juist weergegeven?

▼ **Afb. 49** Meting impulssterkte en impulsfrequentie.

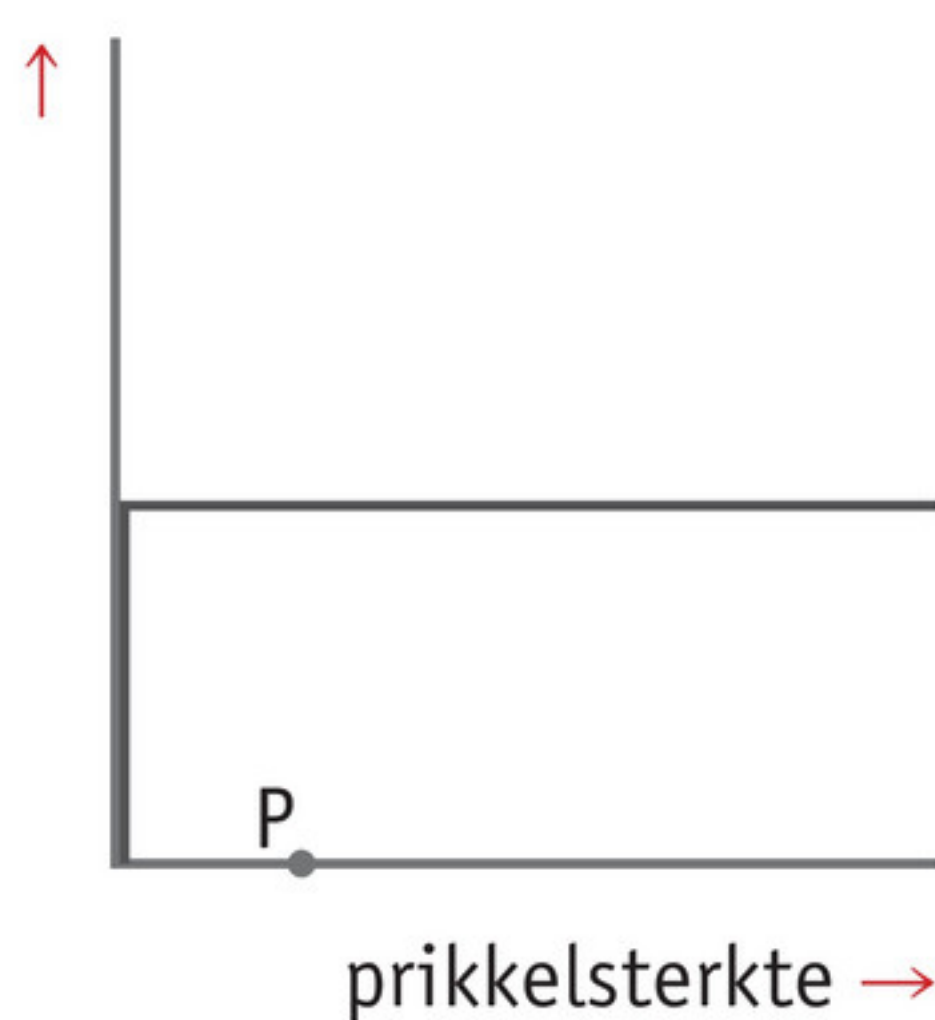


diagram 1

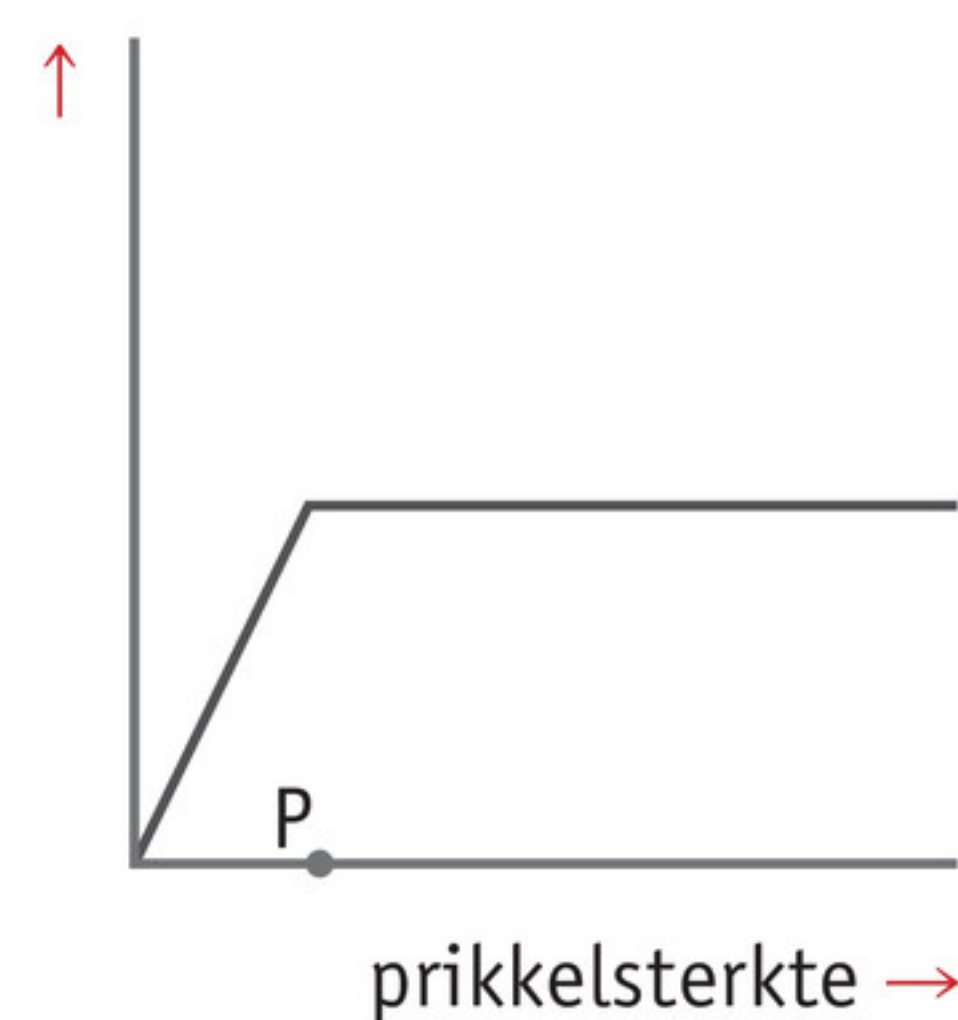


diagram 2

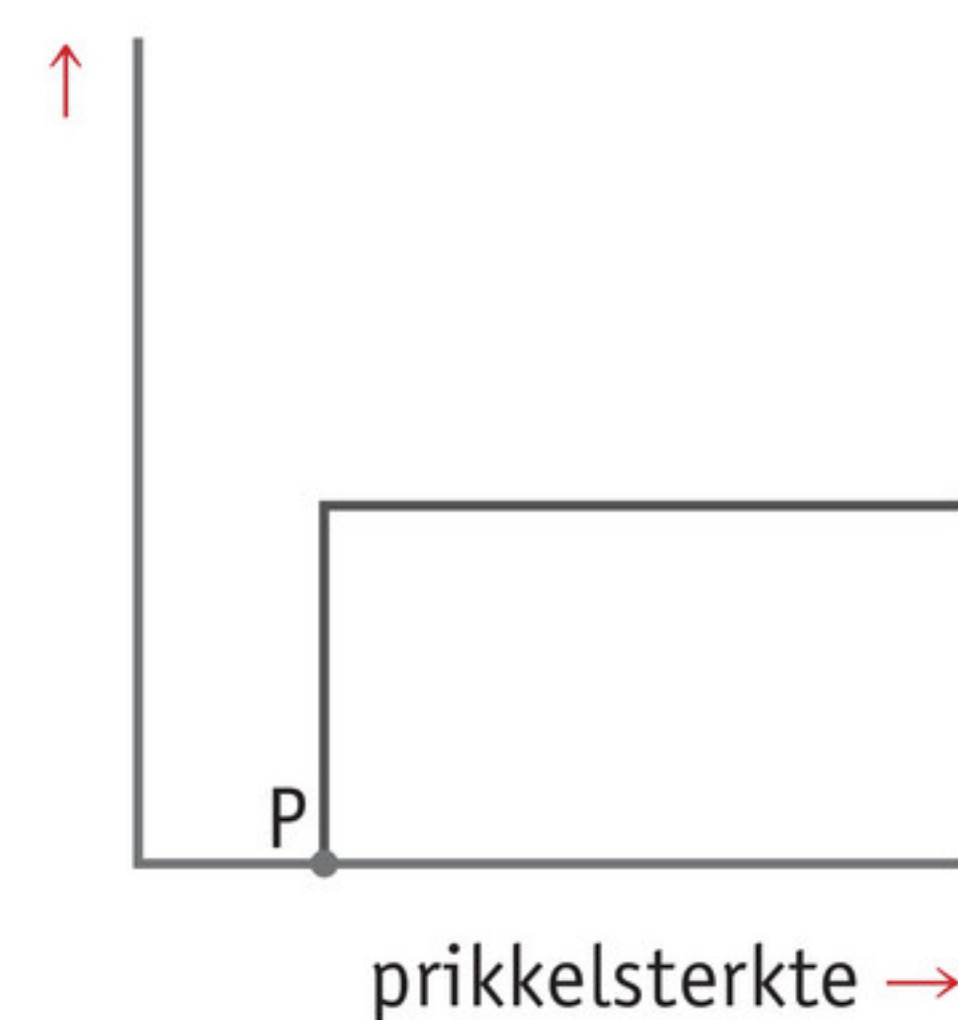


diagram 3

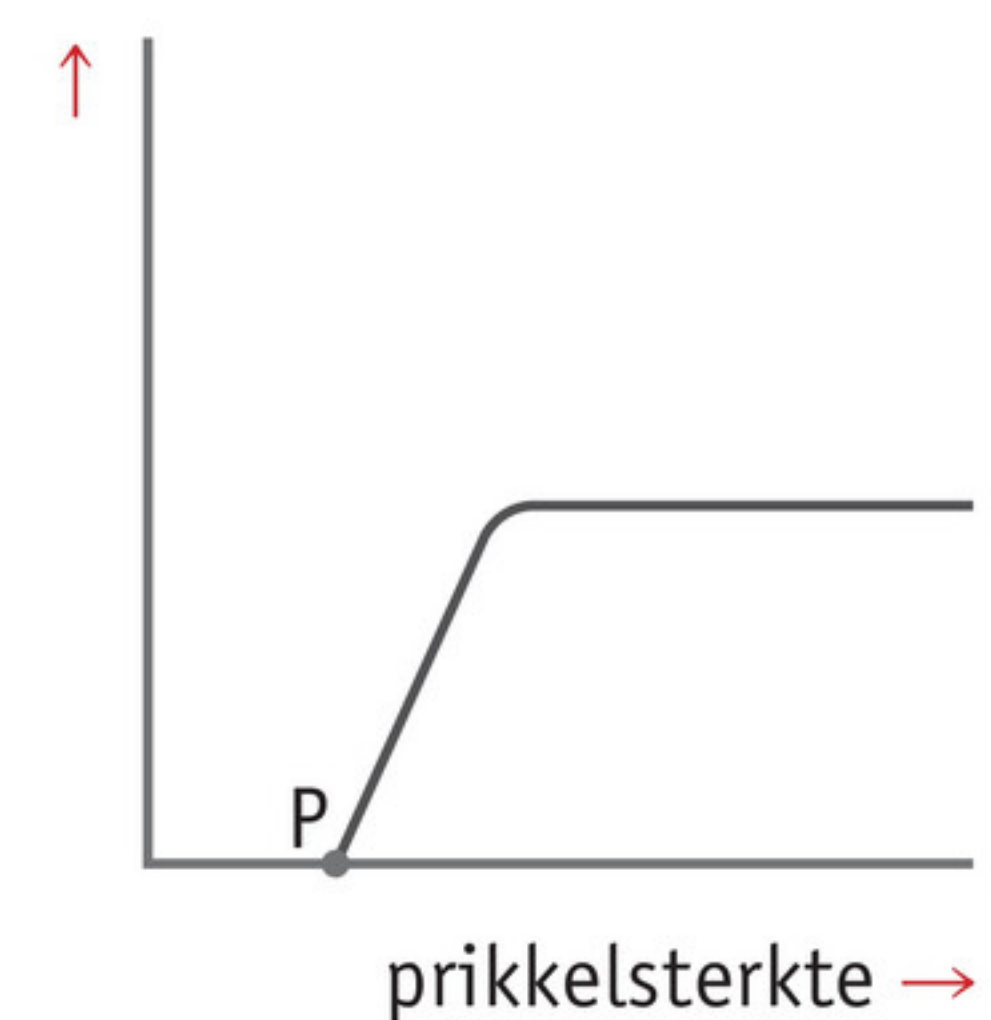


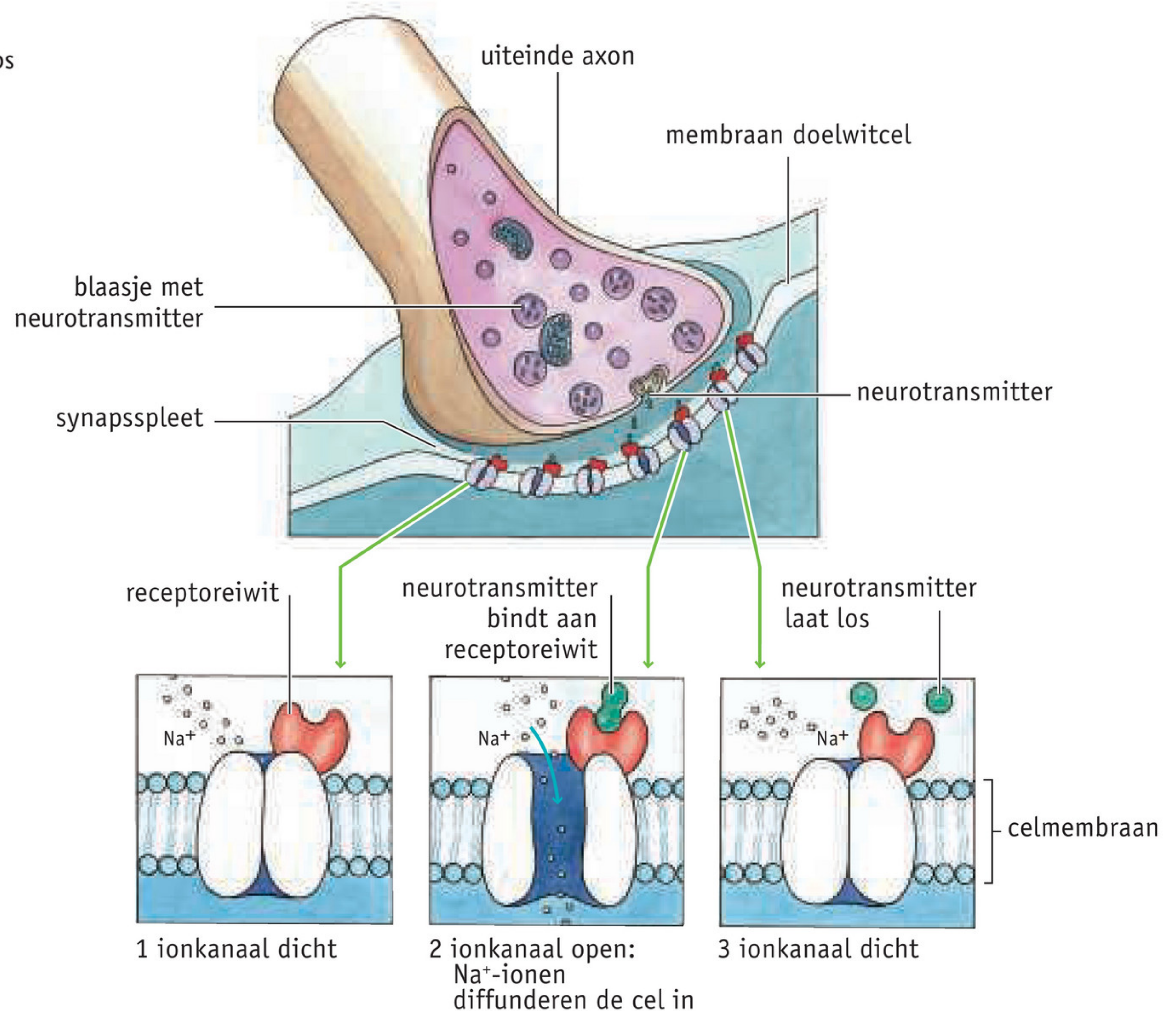
diagram 4

IMPULSOVERDRACHT

Een synaps is een cell junction die bestaat uit een **presynaptisch membraan** (het uiteinde van het aanvoerende axon) en een **postsynaptisch membraan** (membraan van de doelwitcel). Tussen deze twee membranen bevindt zich de synaptische spleet (zie afbeelding 50).

Wanneer er geen impulsen zijn, heerst zowel bij het presynaptische als bij het postsynaptische membraan de rustpotentiaal. Als er wel een impuls aankomt, komen er neurotransmittermoleculen in de synaptische spleet terecht. De neurotransmittermoleculen binden aan receptoreiwitten op de ionkanalen in het postsynaptische membraan van de doelwitcel. Deze ionkanalen zijn receptorgestuurde ionkanalen. Bij binding met neurotransmitter verandert de ruimtelijke structuur van zulke ionkanalen, waardoor ze opengaan en ionen de cel in diffunderen.

► **Afb. 50** Processen in een synaps (schematisch).



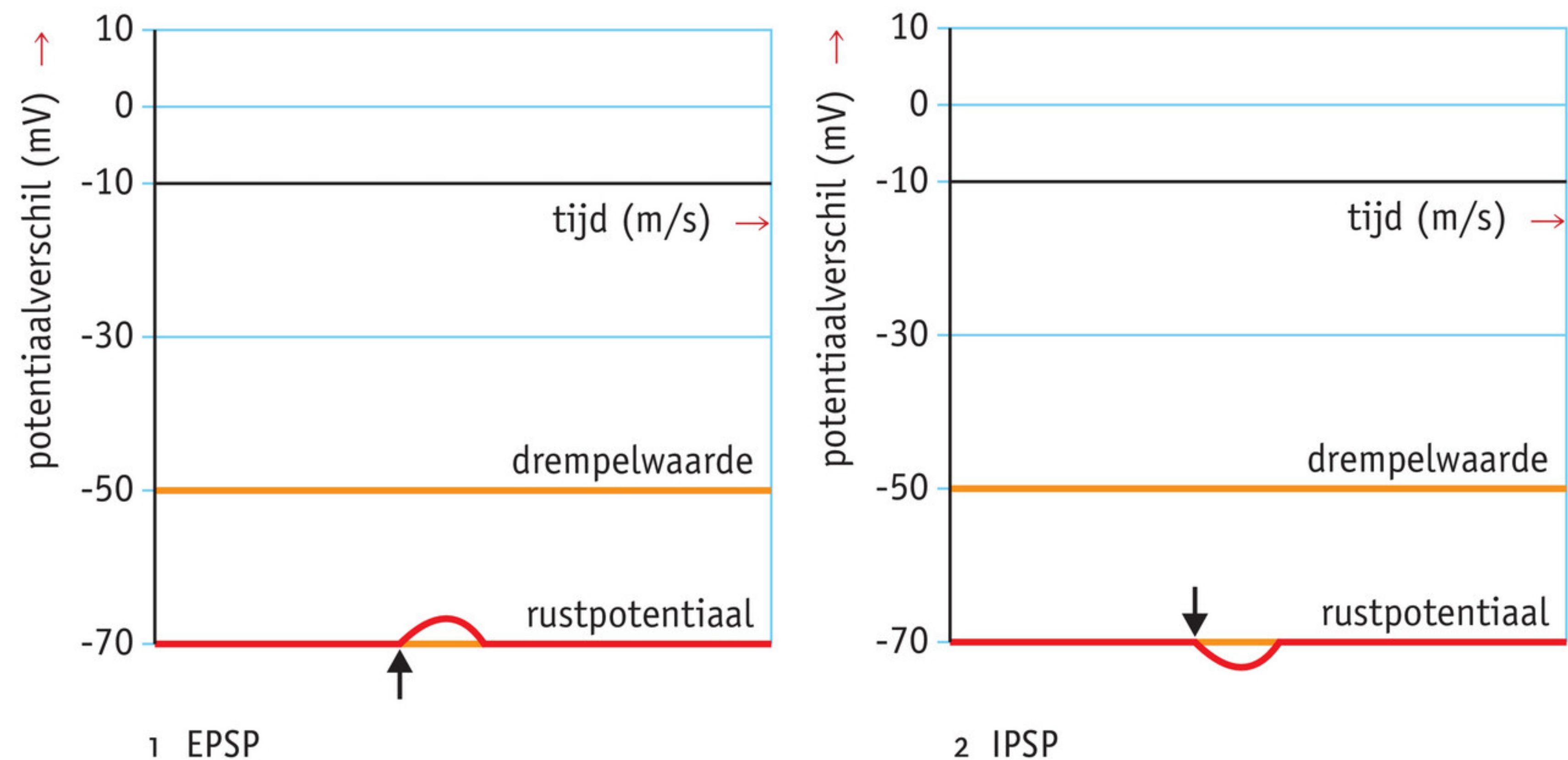
Neurotransmitters blijven zeer korte tijd in de synaptische spleet aanwezig, doordat ze door enzymen worden afgebroken of weer worden opgenomen door het presynaptische membraan. De verandering in de ionenpermeabiliteit van het postsynaptische membraan duurt dan ook maar enkele milliseconden.

IMPULSOVERDRACHT VAN NEURON NAAR NEURON

In het postsynaptische membraan van een neuron bepaalt de combinatie van het type neurotransmitter en het type receptoreiwit welke ionkanalen er opengaan. Zo kunnen neurotransmitters binden aan de receptoreiwitten waardoor Na^+ -kanalen en K^+ -kanalen opengaan. Dat heeft een kleine depolarisatie van het postsynaptische membraan tot gevolg (zie afbeelding 51.1). Dit noem je een **exciterende postsynaptische potentiaal** (exciteren = opwekken) of **EPSP**.

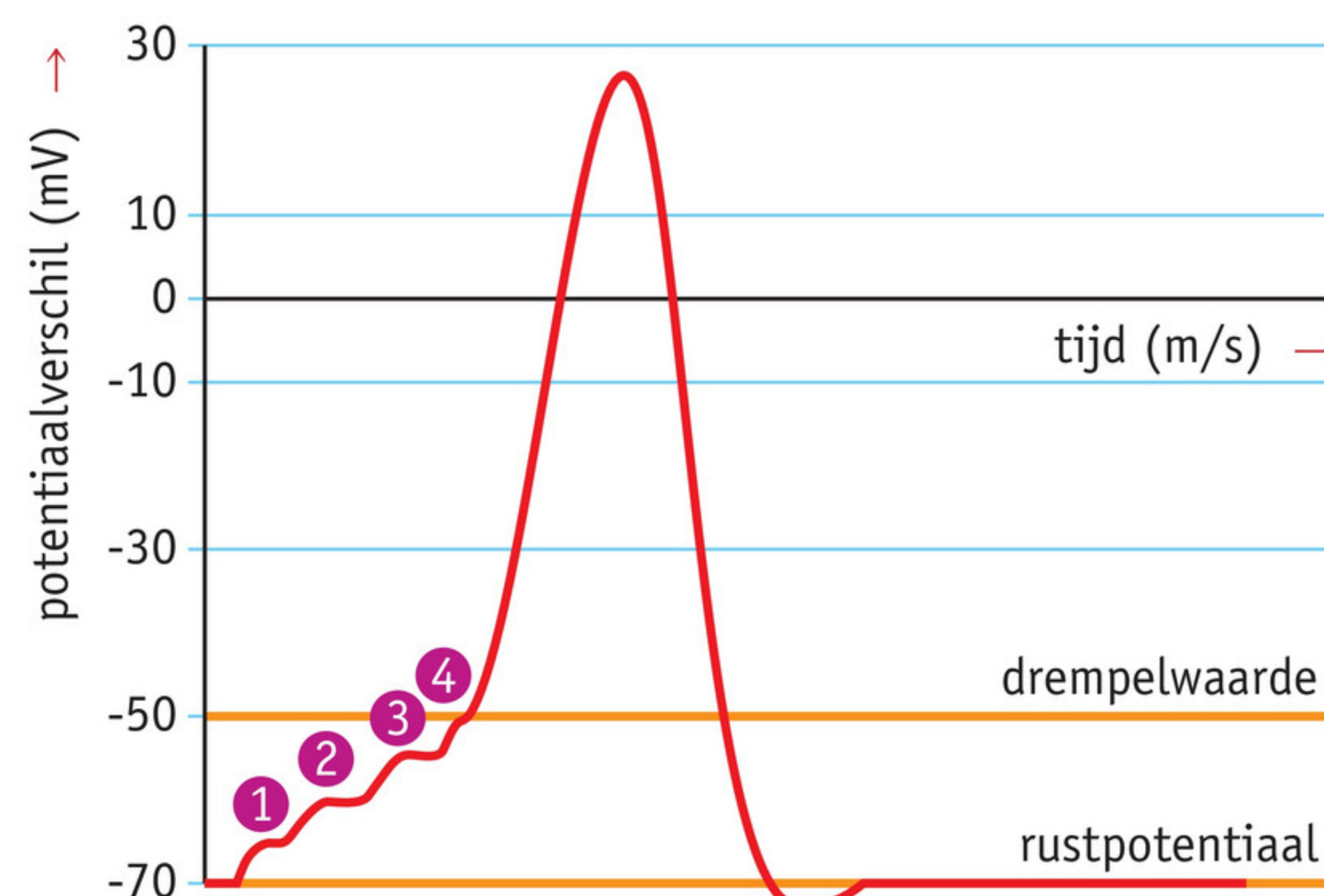
Bij bepaalde combinaties van neurotransmitter en receptoreiwit gaan er ionkanalen open voor K^+ -ionen en/of Cl^- -ionen, maar blijven de porie-eiwitten voor Na^+ -ionen dicht. Dit resulteert in een kleine hyperpolarisatie van het postsynaptische membraan (zie afbeelding 51.2). Dit noem je een **inhiberende postsynaptische potentiaal** (inhiberen = remmen) of **IPSP**.

► **Afb. 51** Postsynaptische potentialen.



Op een neuron kan een groot aantal neuronen aangesloten zijn. Er komen dan veel axonuiteinden voor op het cellichaam en op de dendrieten van een neuron. In het postsynaptische membraan bevinden zich verschillende typen receptoreiwitten. Hierdoor kunnen tegelijkertijd zowel EPSP's (depolarisaties) als IPSP's (hyperpolarisaties) ontstaan. Eén enkele EPSP is niet voldoende om de drempelwaarde voor een actiepotentiaal van het postsynaptische neuron te bereiken. Maar als uit meerdere axonuiteinden tegelijk of kort na elkaar neurotransmitter vrijkomt, tellen de depolarisaties bij elkaar op (**summatie**). Samen kunnen ze de drempelwaarde wel overschrijden (zie afbeelding 52).

► **Afb. 52** Summatie van depolarisaties.

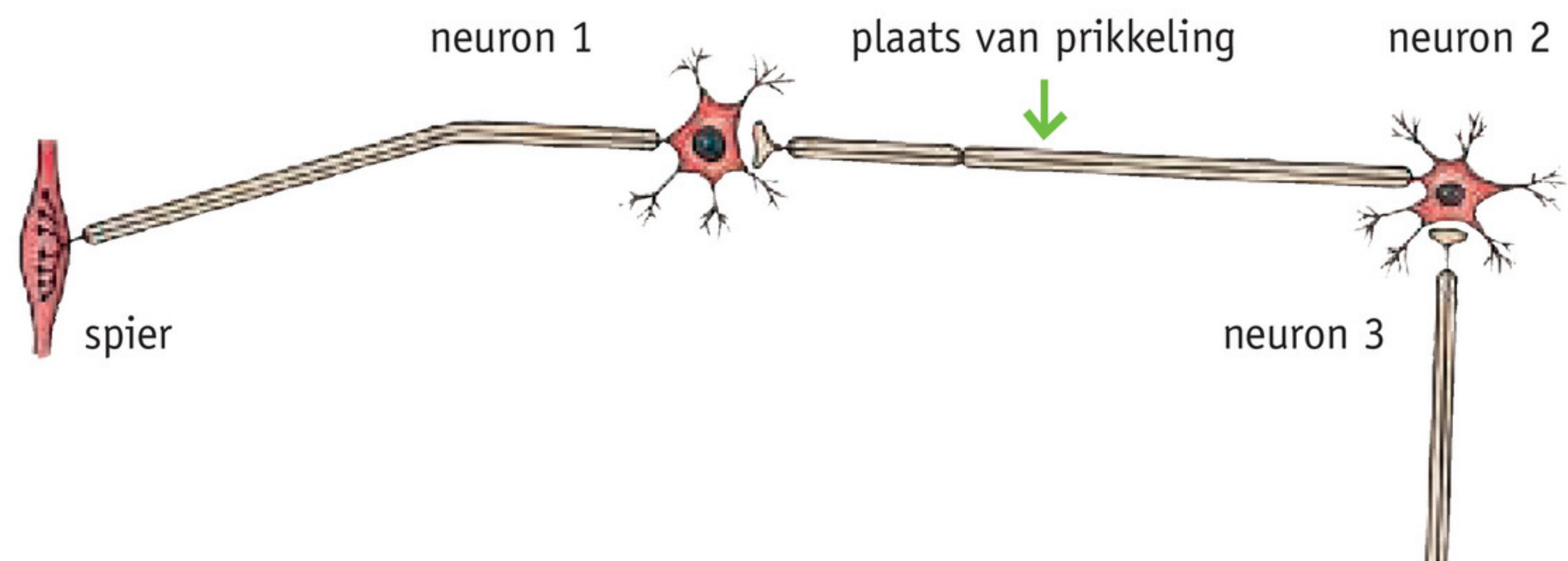


De IPSP's kunnen het effect van de EPSP's neutraliseren. Als de som van alle EPSP's en IPSP's die in een korte tijd een neuron bereiken de drempelwaarde overschrijdt, ontstaat een actiepotentiaal in het postsynaptische neuron waardoor de impuls wordt doorgegeven.

opdrachten

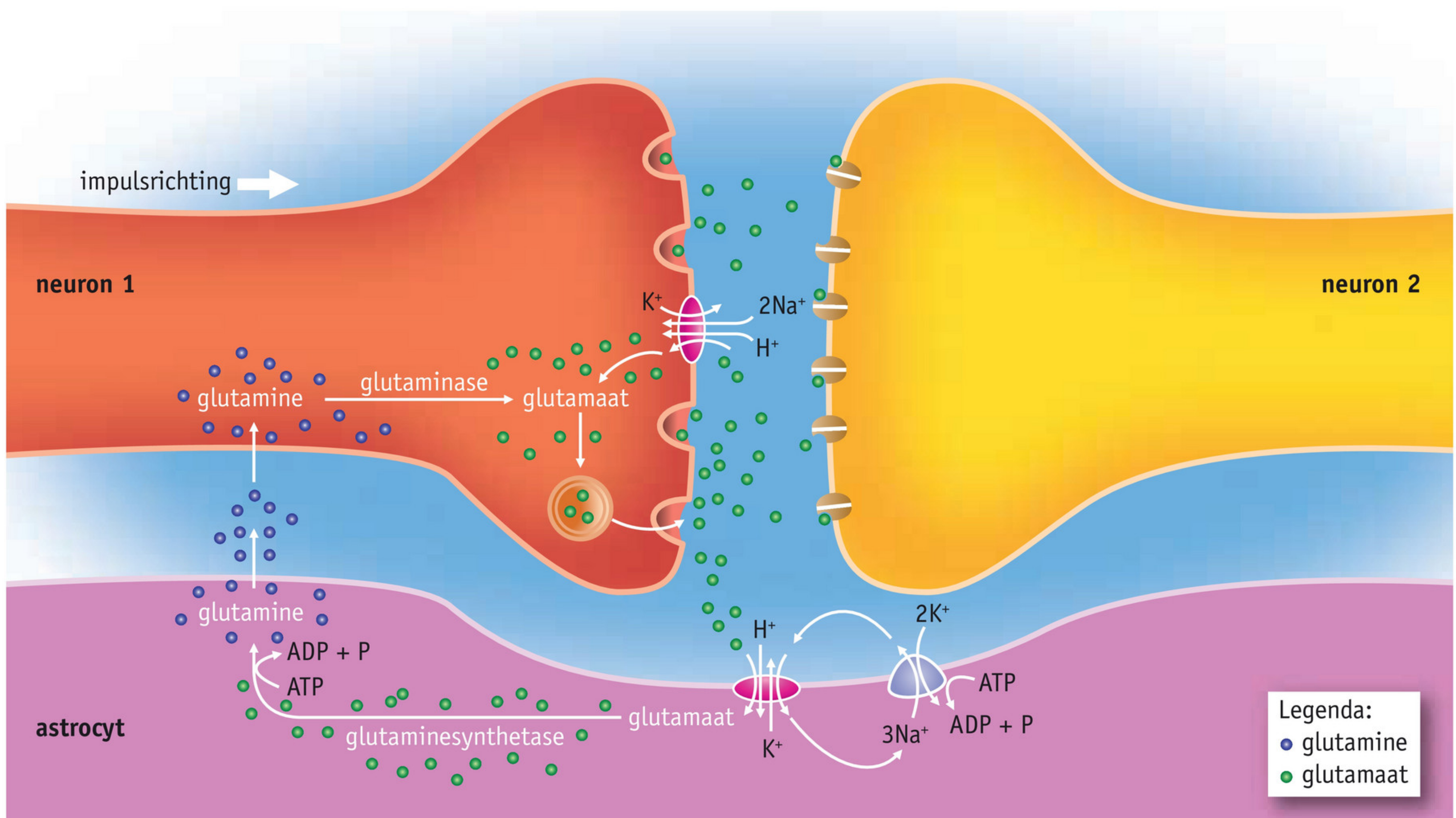
- 43 In afbeelding 53 zijn twee neuronen geheel en één neuron gedeeltelijk getekend. Neuron 1 geleidt impulsen naar een spier. Het axon van neuron 2 wordt kunstmatig geprikkeld, waardoor een impuls ontstaat.
- Wat voor type neuron is neuron 1?
 - Kan de impuls aankomen in het cellichaam van neuron 1? Leg je antwoord uit.
 - Kan de impuls aankomen in het cellichaam van neuron 2? Leg je antwoord uit.
 - Kan de impuls aankomen in het cellichaam van neuron 3? Leg je antwoord uit.

► **Afb. 53** Neuronen.



- 44 Op het postsynaptische membraan van een neuron ontstaan tegelijkertijd EPSP's en IPSP's. Worden de EPSP's hierdoor effectiever of minder effectief? Leg je antwoord uit.
- 45 In afbeelding 54 zijn twee neuronen en een astrocyt schematisch getekend. Astrocyten zijn gliacellen met vertakkingen die een soort omhulsel om synapsen vormen. Ze handhaven de homeostase van het externe milieu van neuronen. Neuron 1 geeft glutamaat af in de synaptische spleet.

▼ **Afb. 54** Het vervoer en de omzetting van glutamaat in en rond een synaps.



Glutamaat is een exciterende neurotransmitter in de hersenen en het ruggenmerg die kan worden gevormd uit glutamine. Glutamine wordt onder andere gemaakt door astrocyten.

- a Is het deel van neuron 2 dat je in de afbeelding ziet het uiteinde van een axon of van een dendriet?
- b Waar in de afbeelding bevinden zich de ionkanalen die zorgen voor de impulsgeleiding?
- c Waardoor openen of sluiten deze ionkanalen?
- d Wanneer de voorste dominosteen in een rij rechtopstaande dominostenen omvalt tegen de volgende steen, ontstaat een kettingreactie. In welk opzicht komt de impulsgeleiding langs een axon overeen met dit domino-effect?
- e Waar in de afbeelding bevinden zich de ionkanalen die zorgen voor de impulsoverdracht?
- f Waardoor openen of sluiten deze ionkanalen?
- g Op welke twee manieren maakt de astrocyt de impulsoverdracht van neuron 1 naar neuron 2 mogelijk?

NEUROTRANSMITTERS

Er zijn meer dan vijftig verschillende stoffen die functioneren als neurotransmitter. Vooral in de hersenen komen veel verschillende neurotransmitters voor.

Receptoreiwitten kunnen het ionentransport door het celmembraan op een directe manier beïnvloeden, door ionkanalen te openen of te sluiten. Er zijn ook receptoreiwitten die indirect werken, namelijk via second messengers.

Voorbeelden zijn noradrenaline, dopamine, serotonine en histamine. De second messenger veroorzaakt direct of indirect via een cascade een verandering in de permeabiliteit van het celmembraan voor ionen. Doordat deze neurotransmitters indirect werken, vindt de impulsoverdracht trager plaats en houdt deze langer aan. Deze neurotransmitters spelen een rol bij onder andere het ontstaan van gevoelens en bij de slaap.

Stoffen zoals geneesmiddelen, genotmiddelen en drugs beïnvloeden de impulsoverdracht. De aanmaak of de afgifte van neurotransmitters in het uiteinde van een axon wordt door deze stoffen gestimuleerd of geremd. Sommige stoffen zorgen ervoor dat neurotransmitters langer aanwezig blijven in de synaptische spleet doordat de neurotransmitters niet worden afgebroken of niet terug worden opgenomen in het axon. Er zijn ook stoffen die een neurotransmitter imiteren door te binden aan hetzelfde receptoreiwit. Afhankelijk van de werking van een stof kan de impulsoverdracht worden geremd of gestimuleerd. Het effect hangt af van het type neurotransmitter dat wordt beïnvloed, van de gebieden in de hersenen waar deze neurotransmitter voorkomt en de functie die een hersengebied vervult.

opdracht

- 46 Door alcohol worden mensen vaak wat meer ontspannen en vrolijker.
- a Welke invloed heeft alcohol op de impulsoverdracht in de synapsen van bepaalde hersengebieden? Leg je antwoord uit.
 - b Nicotine in tabak stimuleert de impulsoverdracht in bepaalde synapsen door de werking van de neurotransmitter acetylcholine na te bootsen. Werkt acetylcholine in deze synapsen exciterend of inhiberend? Leg je antwoord uit.



Honing en straatvuil

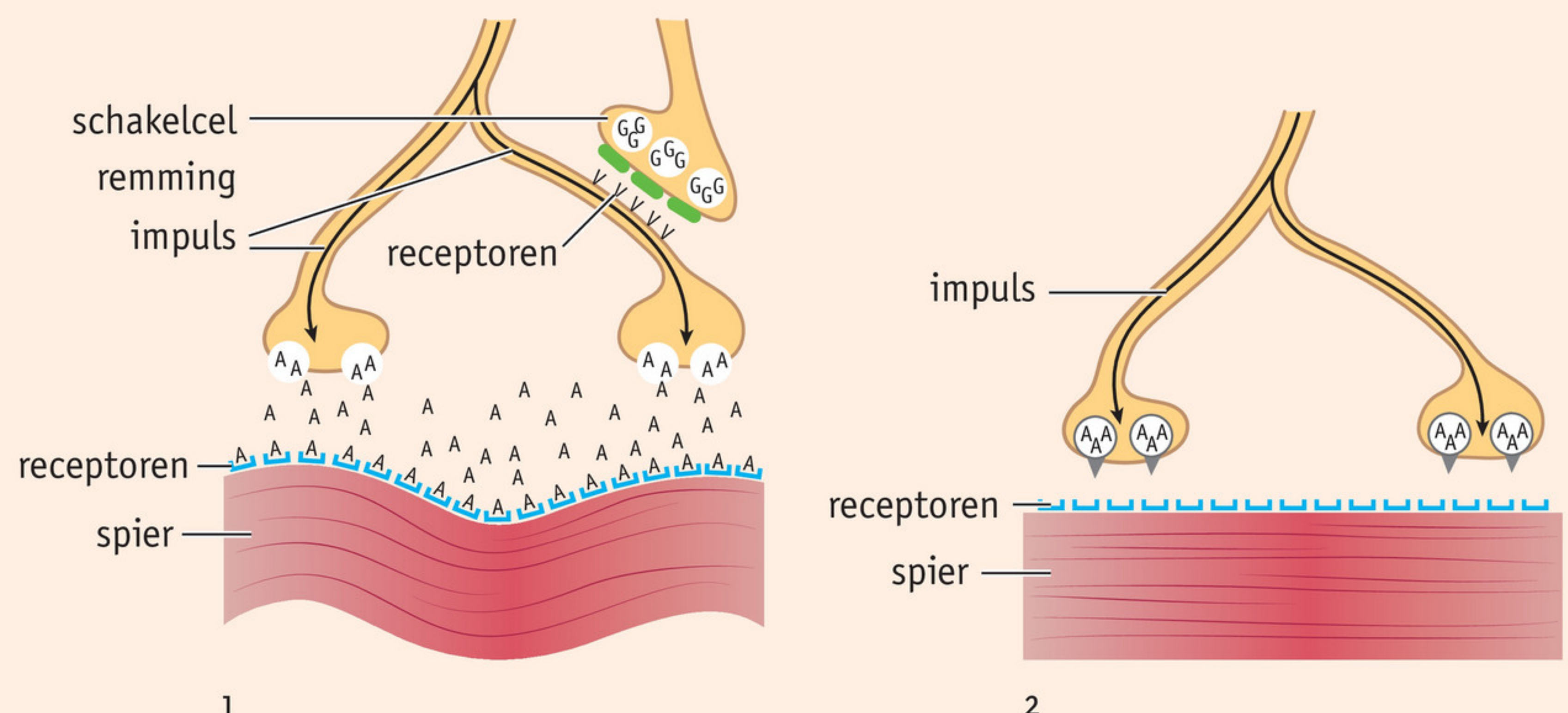
Een beetje honing op een speen lijkt een goede methode om een huilende baby rustig te krijgen. Maar voor baby's kan dit levensgevaarlijk zijn. De honing kan namelijk besmet zijn met de bacterie *Clostridium botulinum*. In het darmkanaal van baby's kunnen de bacteriën zich vermenigvuldigen en de gifstof botuline gaan produceren. Botuline is een neurotoxine: een stof die de werking van het zenuwstelsel kan beïnvloeden. Botuline hecht aan het presynaptische membraan van motorische neuronen en voorkomt dat blaasjes met de neurotransmitter acetylcholine versmelten met het celmembraan. Hierdoor komt geen acetylcholine vrij in de synaptische spleet en wordt er geen impuls overgebracht op een spier.

Clostridium tetani komt voor in aarde en straatvuil. Wanneer je valt en een wond hebt, kan de bacterie in je lichaam terechtkomen. De bacterie produceert het neurotoxine tetanustoxine. Normaal gesproken remt glycine uit schakelneuronen de afgifte van blaasjes met acetylcholine waardoor een spier die is samengetrokken, kan ontspannen. Tetanustoxine blokkeert het vrijkomen van de neurotransmitter glycine uit een schakelneuron. Hierdoor blijft het uiteinde van een axon van een motorisch neuron acetylcholine afgeven in de synaptische spleet en blijft een spier samengetrokken.

opdracht

- 47 Afbeelding 55 laat zien hoe tetanustoxine en botuline de afgifte van de neurotransmitter acetylcholine kunnen beïnvloeden.
- Welke afbeelding geeft de werking van het neurotoxine botuline weer? Leg je antwoord uit.
 - Botox is een verdunning van botuline. Het wordt onder andere gebruikt om rimpelvorming in het gezicht te voorkomen. Rimpels kunnen ontstaan doordat iemand vaak bepaalde gelaatsspieren gebruikt, bijvoorbeeld bij fronsen.
Hoe kan het gebruik van botox rimpelvorming in het gezicht voorkomen?
 - Curare is een verzamelnaam voor neurotoxinen die afkomstig zijn van planten en binden aan de receptoreiwitten voor acetylcholine. Tetanus kan worden behandeld met curare. Leg dit uit.
 - Een patiënt met tetanus die curare krijgt toegediend, wordt beademd. Leg dit uit.

► **Afb. 55** De werking van neurotoxinen.



Leerdoelen

- Je kunt de bouw en werking van spieren beschrijven.
- Je kunt de effecten van training en dopinggebruik uitleggen.
- Je kunt de uitvoering van een onderzoek en de conclusies evalueren.

6 Spieren en beweging

Veel organismen kunnen bewegen van de ene naar de andere plaats door bijvoorbeeld te lopen, rennen, kruipen, springen, hippen, vliegen of zwemmen. Hoe brengen zij hun skelet met behulp van spieren in beweging?

TYPEN SPIERWEEFSEL

Als impulsen van motorische neuronen aankomen bij een spier, kunnen ze een contractie (samentrekking) van de spier veroorzaken en daardoor een beweging tot stand brengen. Spieren spelen bovendien een rol bij de lichaamshouding en bij de warmteproductie in het lichaam.

Bij de mens komen drie typen spierweefsel voor: glad spierweefsel, dwarsgestreept spierweefsel en hartspierweefsel.

Glad spierweefsel bestaat uit langwerpige spiercellen, elk met een celkern (zie afbeelding 56.1). Het komt voor in de huid en in de wand van buisvormige of holle organen zoals het darmkanaal, de vertakkingen in de longen, de iris en de bloedvaten. Glad spierweefsel wordt geïnnerveerd door het autonome zenuwstelsel. Ook hormonen (bijvoorbeeld adrenaline) kunnen contractie veroorzaken. De contractie van glad spierweefsel verloopt trager dan van dwarsgestreept spierweefsel, maar de spiercellen van glad spierweefsel raken niet snel vermoeid.

Dwarsgestreept spierweefsel bestaat uit **spiervezels** die zijn ontstaan door versmelting van vele spiercellen (zie afbeelding 56.2). Een spiervezel bevat daardoor veel celkernen. Met een microscoop zijn bij deze spiervezels dwarse strepen te zien. De meeste dwarsgestreepte spieren zitten vast aan delen van het skelet (skeletspieren). Sommige dwarsgestreepte spieren zitten met één of beide uiteinden vast aan de huid, zoals de gelaatsspieren. Dwarsgestreept spierweefsel wordt geïnnerveerd door het animale zenuwstelsel en de contractie verloopt snel. De spiervezels raken snel vermoeid.

Hartspierweefsel vertoont onder de microscoop ook dwarse strepen. De spiercellen vormen vertakkingen (zie afbeelding 56.3). Hartspierweefsel wordt geïnnerveerd door het autonome zenuwstelsel.

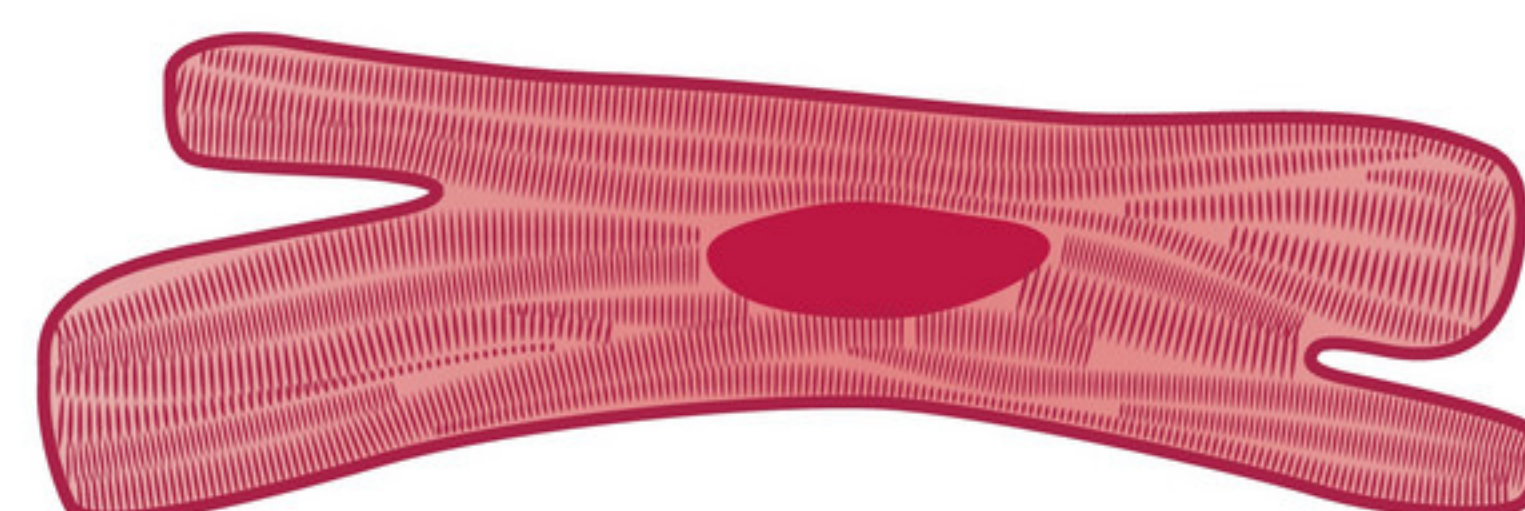
▼ **Afb. 56** Spierweefsel.



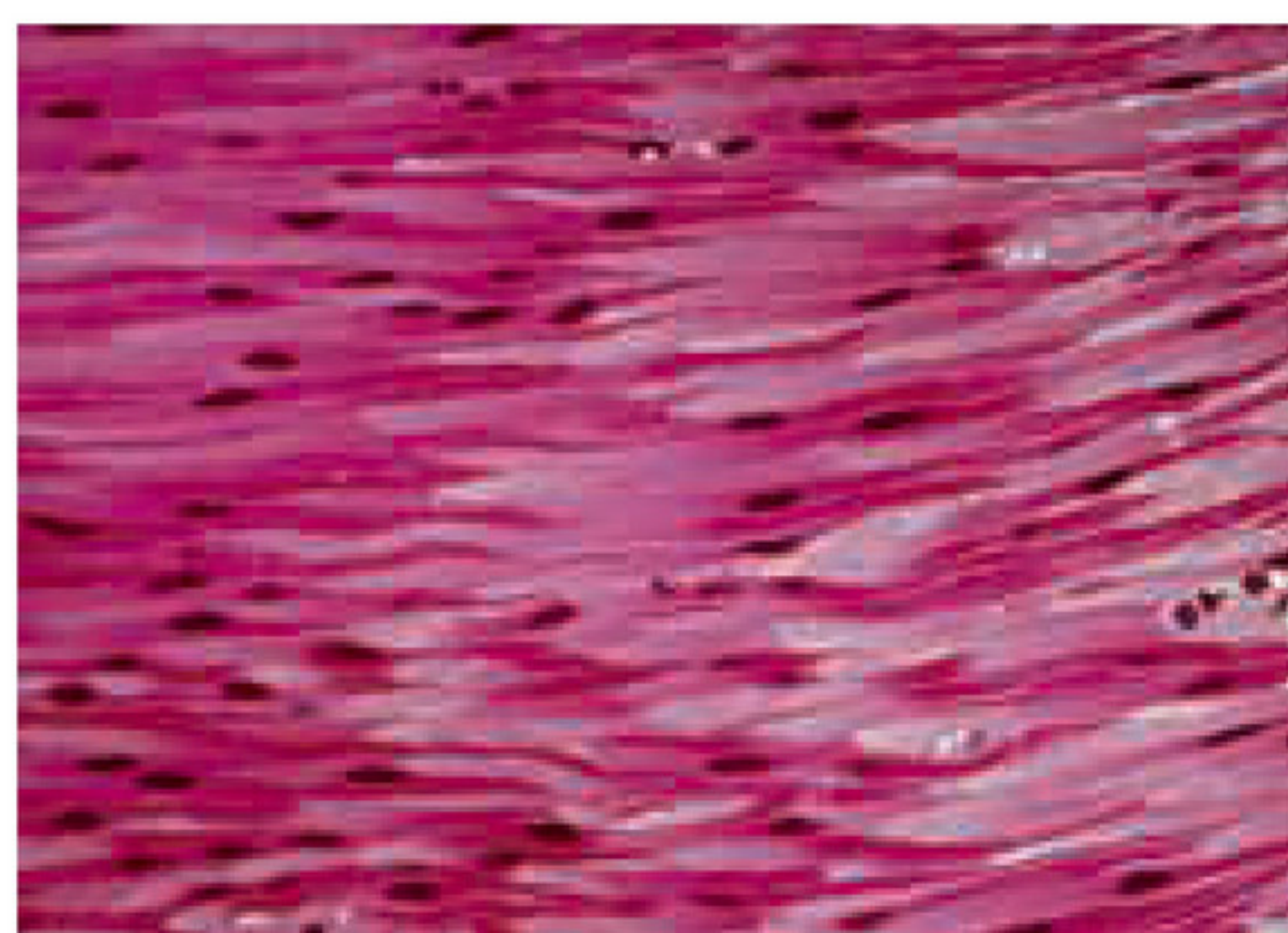
spiercel



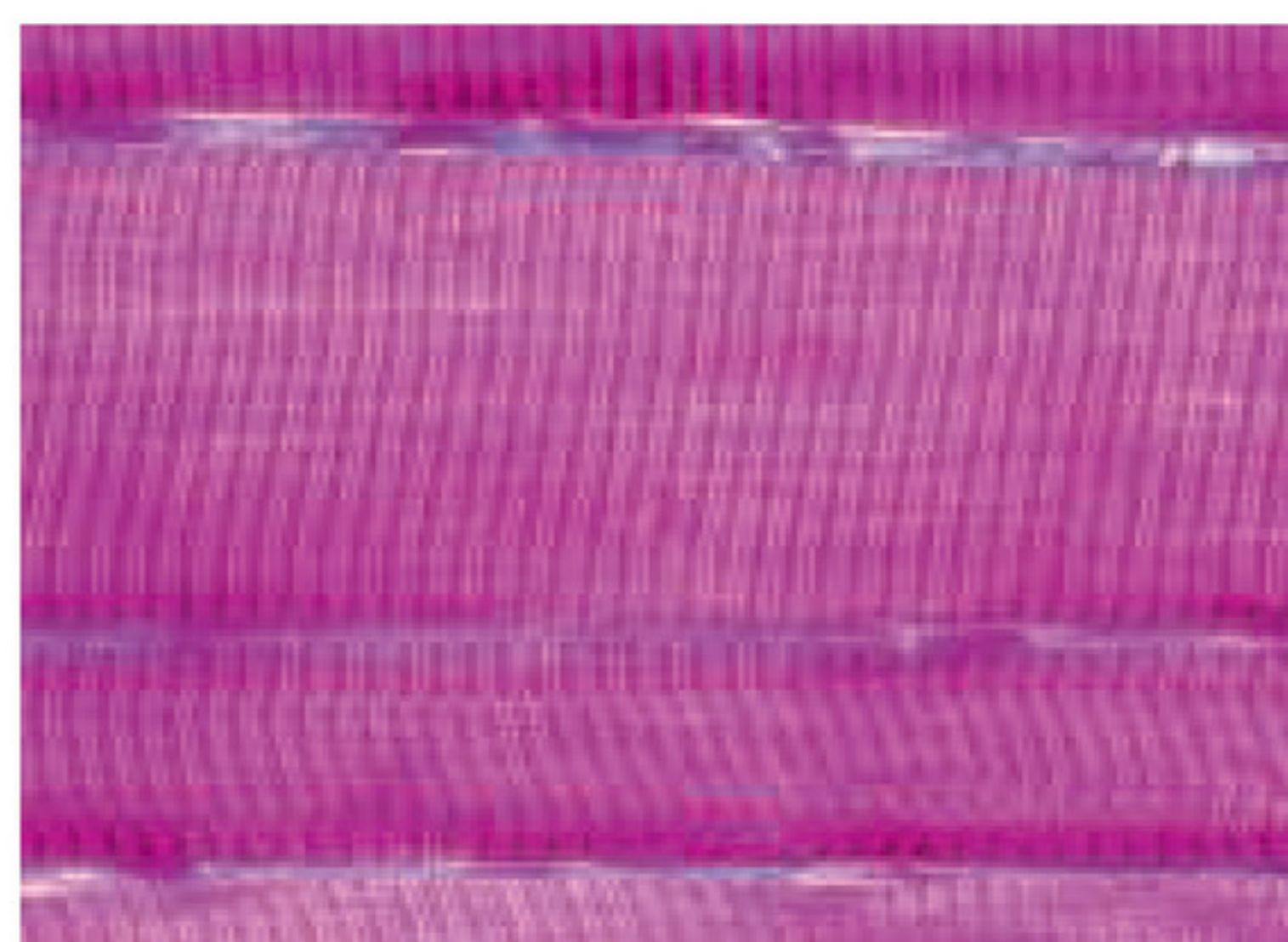
spiervezel



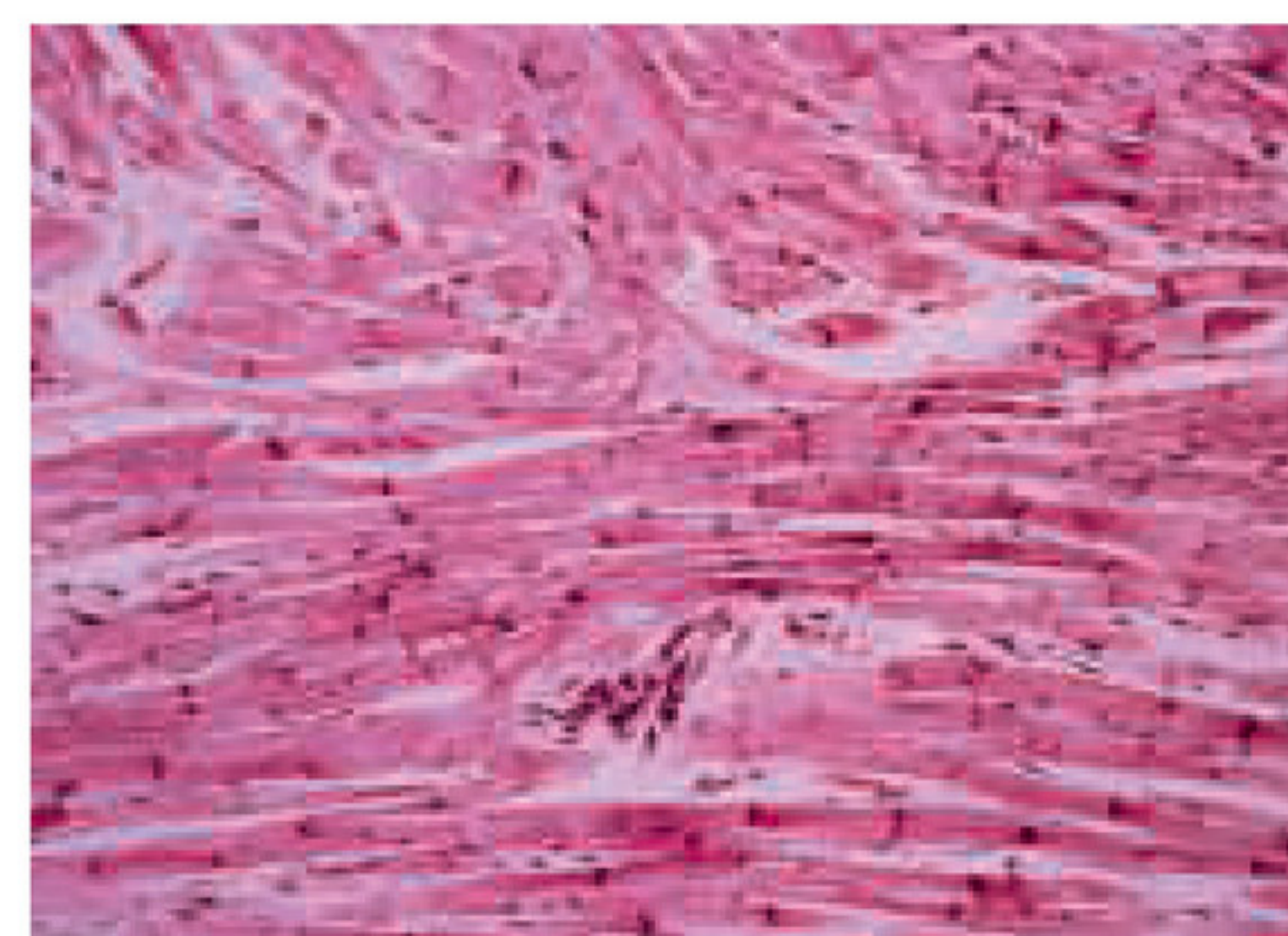
spiercel



1 glad spierweefsel



2 dwarsgestreept spierweefsel



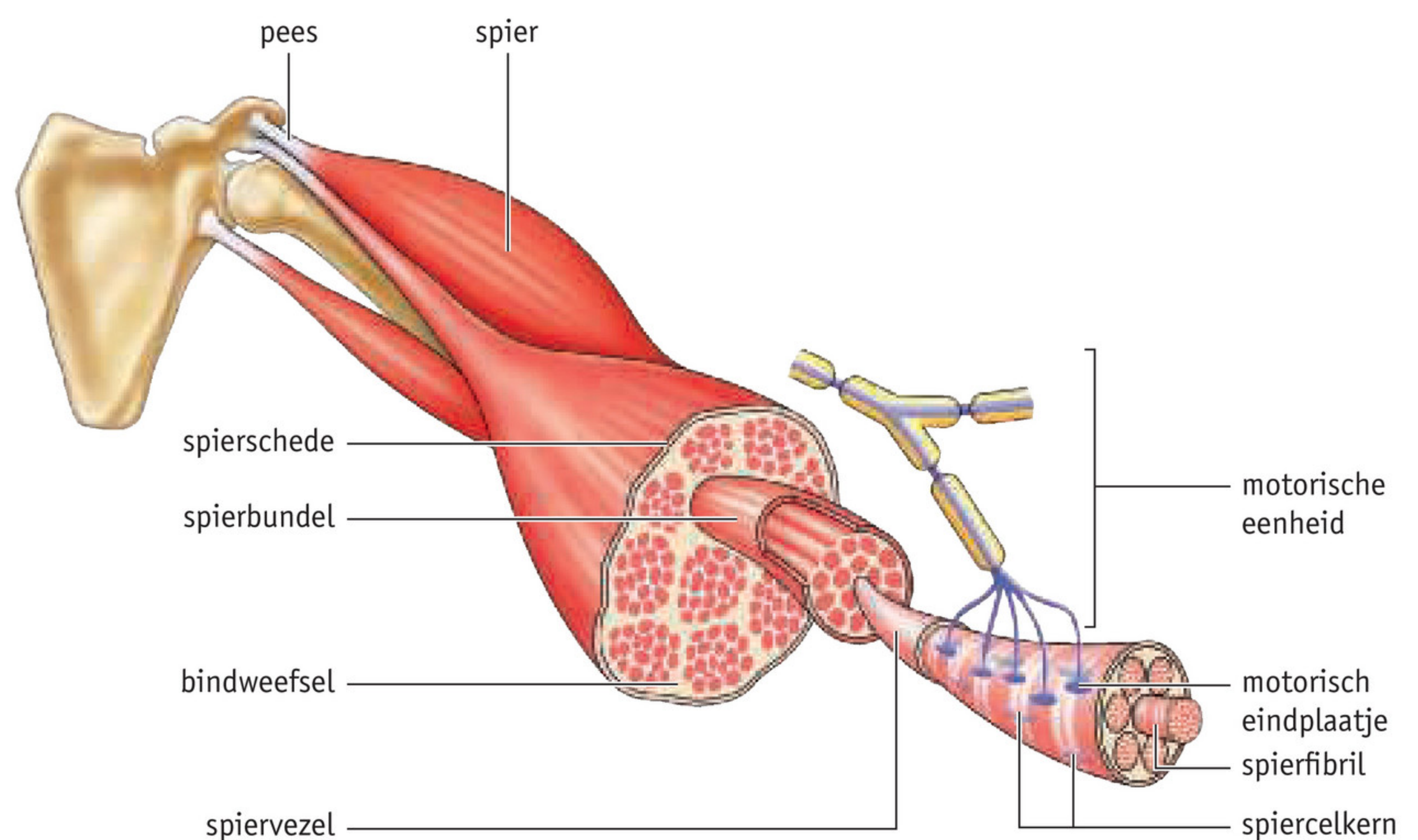
3 hartspierweefsel

opdrachten

- 48 Je kunt glad en dwarsgestreept spierweefsel onderscheiden. Maak een tabel met twee kolommen. Noteer boven de ene kolom 'Bevat glad spierweefsel' en boven de andere kolom 'Bevat dwarsgestreept spierweefsel'. Vul de tabel in. Kies uit: *aorta – armbuigspier – baarmoeder – blaas – buikspieren – dijspier – eileiders – kauwspieren – kuitspier – urinewegen – zaadleiders*.
- 49 Bij de ziekte ALS (amyotrofische laterale sclerose) sterven motorische neuronen in het ruggenmerg, de hersenstam en de bewegingscentra af, waardoor spieren die bewuste reacties en reflexen maken geen impulsen meer ontvangen. Hierdoor worden de spieren dunner en treedt er krachtverlies op (spieratrofie) wat uiteindelijk leidt tot verlamming. Waardoor wordt het spierweefsel van het hart, de blaas en de darmen bij ALS niet aangetast?

► PRACTICUMOPDRACHT 4

► **Afb. 57** De bouw van een skeletspier.



SKELETSPIEREN

In afbeelding 57 is de bouw van een skeletspier schematisch getekend. Een skeletspier is omgeven door een **spierschede** van bindweefsel. Aan de uiteinden van de spier gaat het bindweefsel van de spierschede over in het bindweefsel van **pezen**. Skeletspieren zijn met pezen bevestigd aan delen van het skelet.

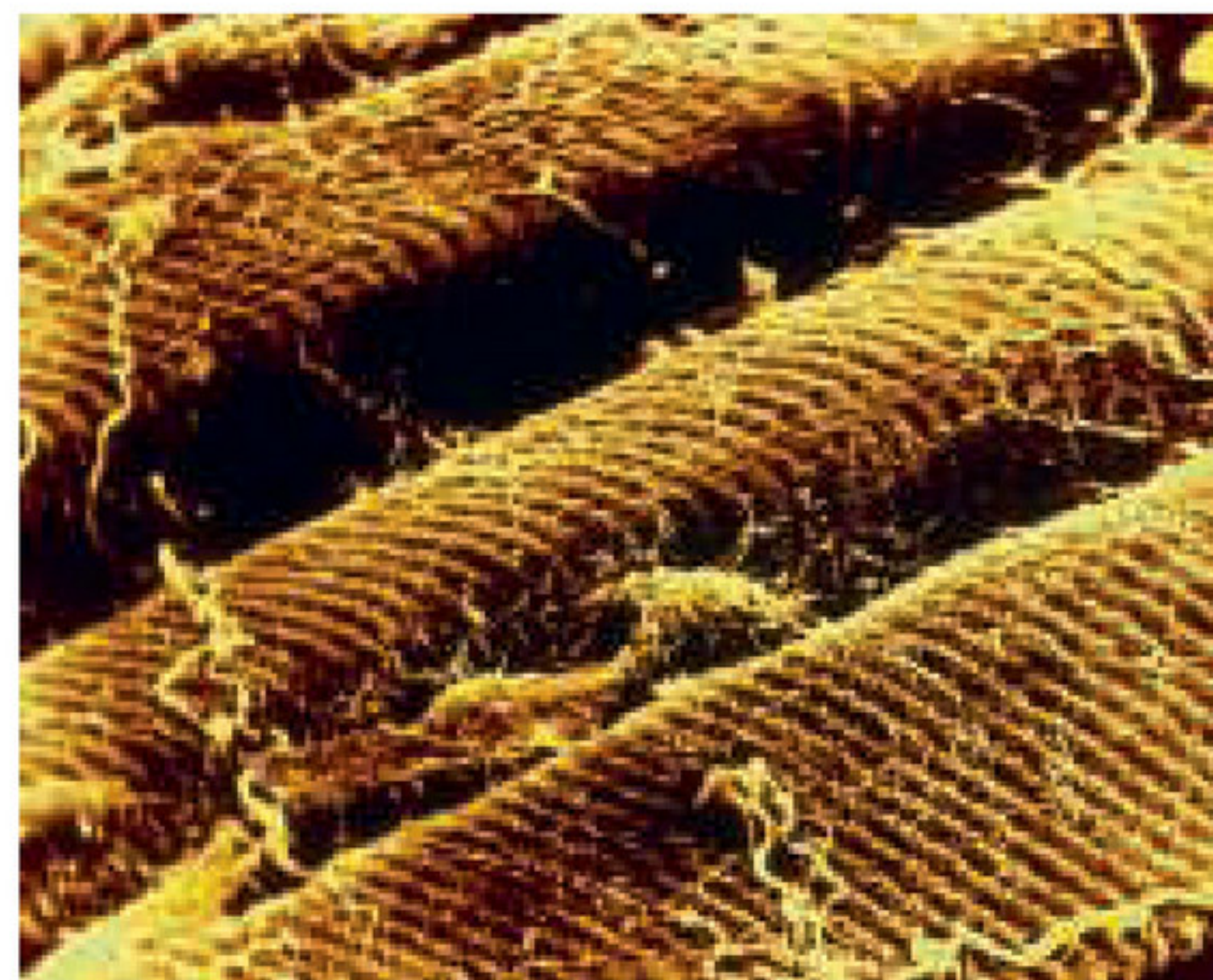
▼ **Afb. 58** Spiervezels met motorische eindplaatjes.



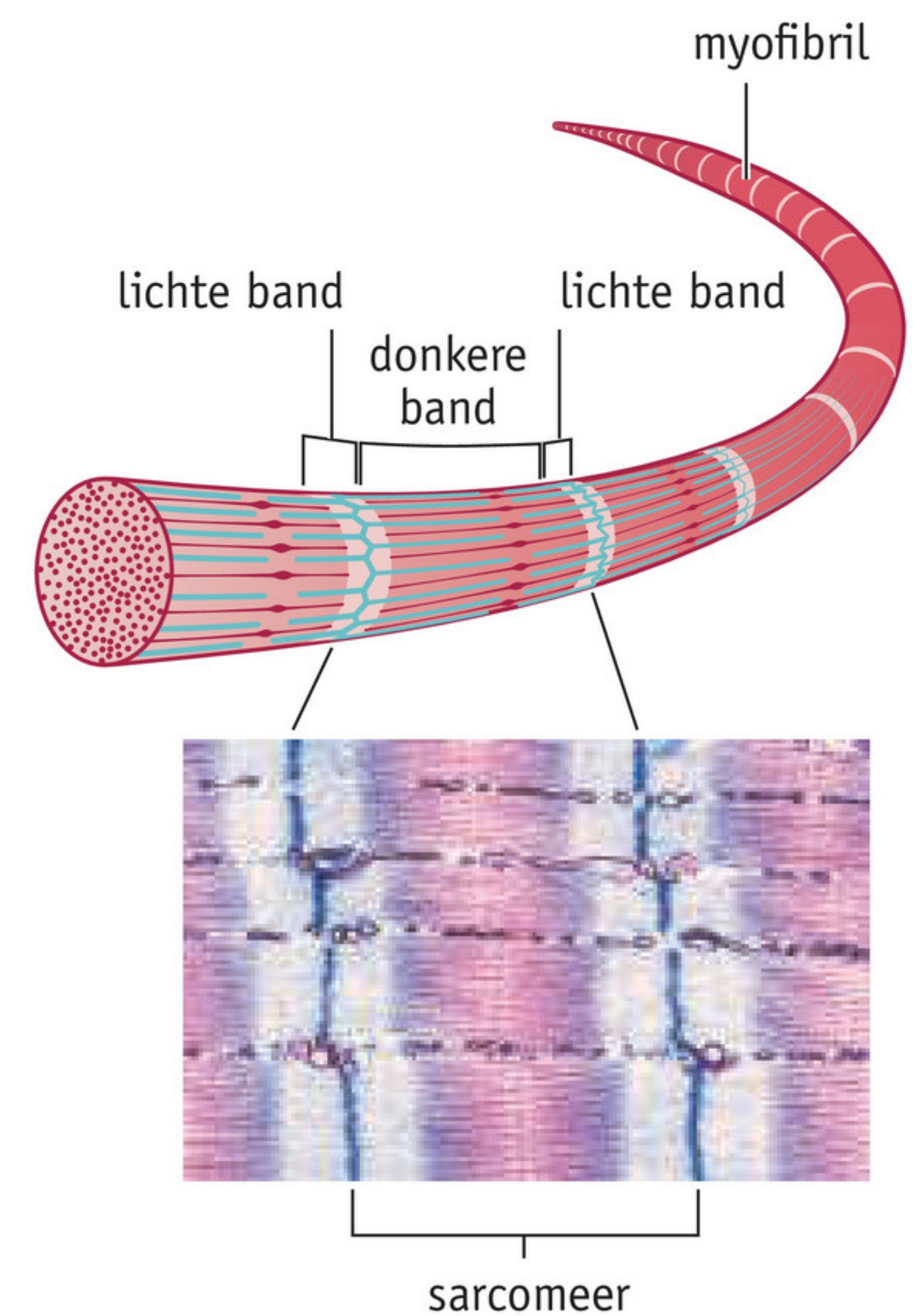
Een skeletspier bestaat uit enkele **spierbundels** die elk ook weer zijn omgeven door een laag bindweefsel. Een spierbundel bestaat uit een aantal spiervezels. Op de spiervezels bevinden zich **motorische eindplaatjes** (zie afbeelding 58). Dat zijn de uiteinden van de vertakkingen van een axon van een motorisch neuron. De fijne vertakkingen lopen naar de motorische eindplaatjes op verschillende spiervezels. De meeste spiervezels hebben één motorisch eindplaatje. De motorische eindplaatjes zorgen voor de impulsoverdracht naar een spiervezel. Eén motorisch neuron vormt samen met alle spiervezels die via motorische eindplaatjes in verbinding staan met dit neuron, een **motorische eenheid**.

Met een elektronenmicroscop is in een spiervezel een groot aantal **myofibrillen** (**spierfibrillen**) zichtbaar (zie afbeelding 59.1). Tussen de myofibrillen bevinden zich veel mitochondriën en glycogeenkorrels. Elke myofibril bestaat uit een groot aantal eiwitdraden die je **filamenten** noemt. De dunne filamenten bestaan uit het eiwit **actine** en de dikke filamenten bestaan uit het eiwit **myosine**. De actine- en myosinefilamenten liggen in een regelmatig patroon gerangschikt in **sarcomeren**. Hierdoor is in een spiervezel onder de microscoop een dwarse streping zichtbaar van lichte en donkere banden (zie afbeelding 59.2).

► **Afb. 59** Myofibrillen.



1 EM-foto (vergroting 35 000×)



2 sarcomeer

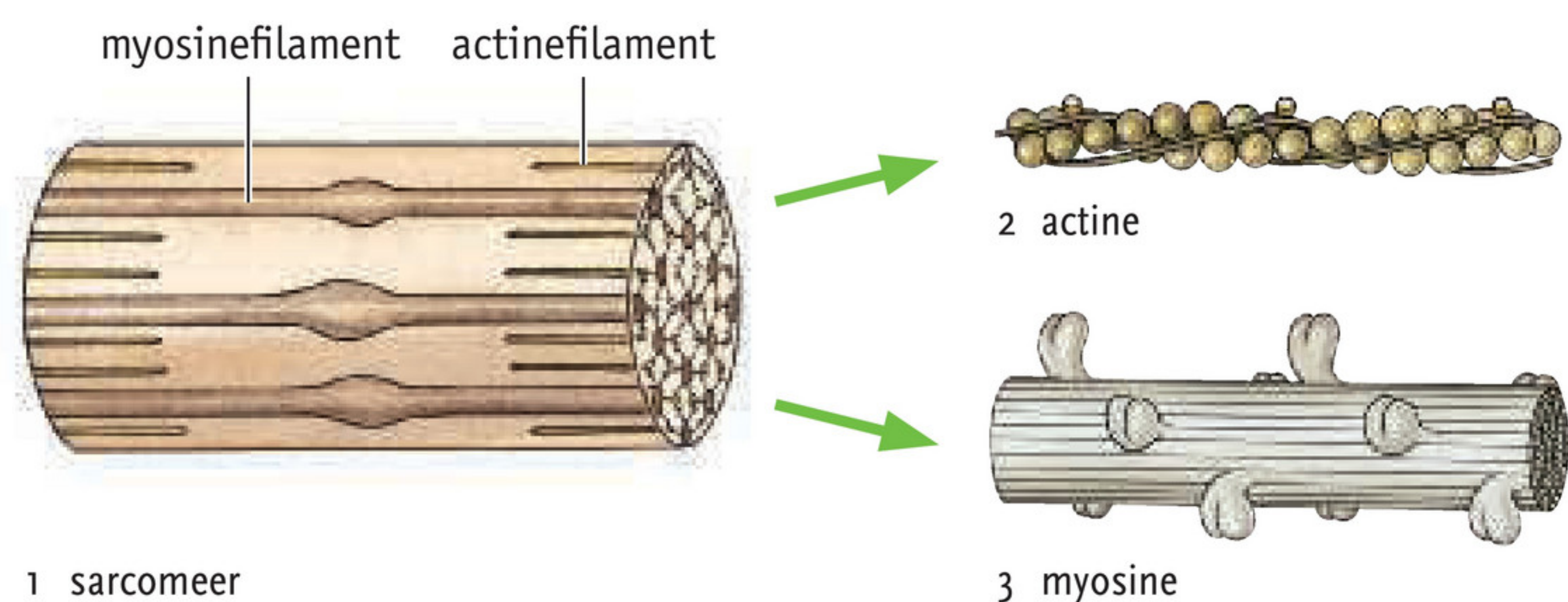
ACETYLCHOLINE

In een motorisch eindplaatje komt onder invloed van impulsen de neurotransmitter acetylcholine uit de synaptische blaasjes vrij. Dit gebeurt tegelijkertijd in alle motorische eindplaatjes van een motorische eenheid. Acetylcholine bindt aan de receptoreiwitten van ionkanalen in het postsynaptische membraan. Wanneer hierdoor een EPSP ontstaat, veroorzaakt dit contractie van de aangesloten spiervezels. De contractie van een motorische eenheid verloopt volgens het alles-of-nietsprincipe, zoals bij het ontstaan van een impuls in een neuron. Wanneer de prikkeldempel wordt overschreden, trekken alle spiervezels van de motorische eenheid gelijktijdig samen. Deze contractie is altijd maximaal. Afhankelijk van het aantal motorische eenheden dat tegelijkertijd samentrekt, kan de contractie van een spier krachtig of minder krachtig zijn. Naar elke spier loopt een groot aantal motorische neuronen. Deze geleiden hun impulsen niet gelijktijdig. Daardoor trekken sommige motorische eenheden samen, terwijl andere juist ontspannen. Dit voorkomt een snelle vermoeidheid van de spier.

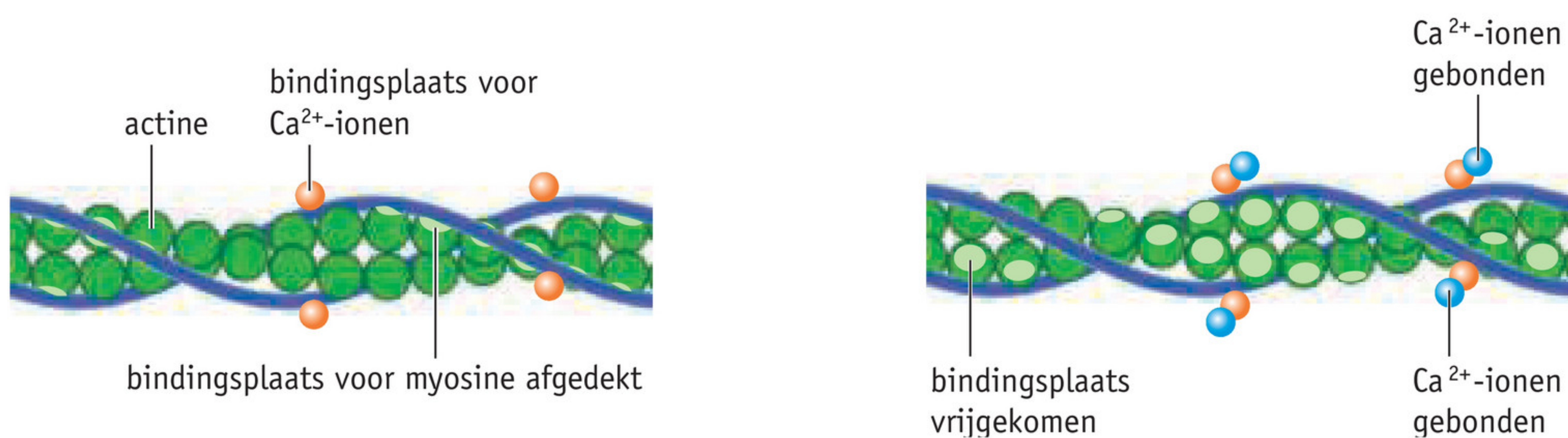
CONTRACTIE

Myosinefilamenten zijn opgebouwd uit parallel lopende myosinemoleculen met een gebogen kop aan het eind (zie afbeelding 60.3). In een ontspannen spier overlappen de actine- en myosinefilamenten in de sarcomeren elkaar nauwelijks. Direct na overdracht van een impuls verandert de permeabiliteit van het celmembraan van de spiervezel. Hierdoor diffunderen Ca^{2+} -ionen de myofibrillen in en binden aan bepaalde eiwitten op de actinefilamenten. Zo komen bindingsplaatsen vrij waaraan de koppen van myosinemoleculen kunnen binden (zie afbeelding 61.1 en 61.2). De gebogen koppen van de myosinemoleculen binden aan een ATP-molecuul dat zich splitst in ADP en P. Met behulp van de energie die hierbij vrijkomt, strekken de koppen zich en binden aan een actine-bindingsplaats. Als ADP en P loslaten, springt het myosinemolecuul terug in de oorspronkelijke gebogen stand en trekt hierbij het actinefilament mee. Daardoor bewegen de uiteinden van het sarcomeer naar elkaar toe (zie afbeelding 61.3 en 61.4). Hierdoor wordt de spiervezel korter.

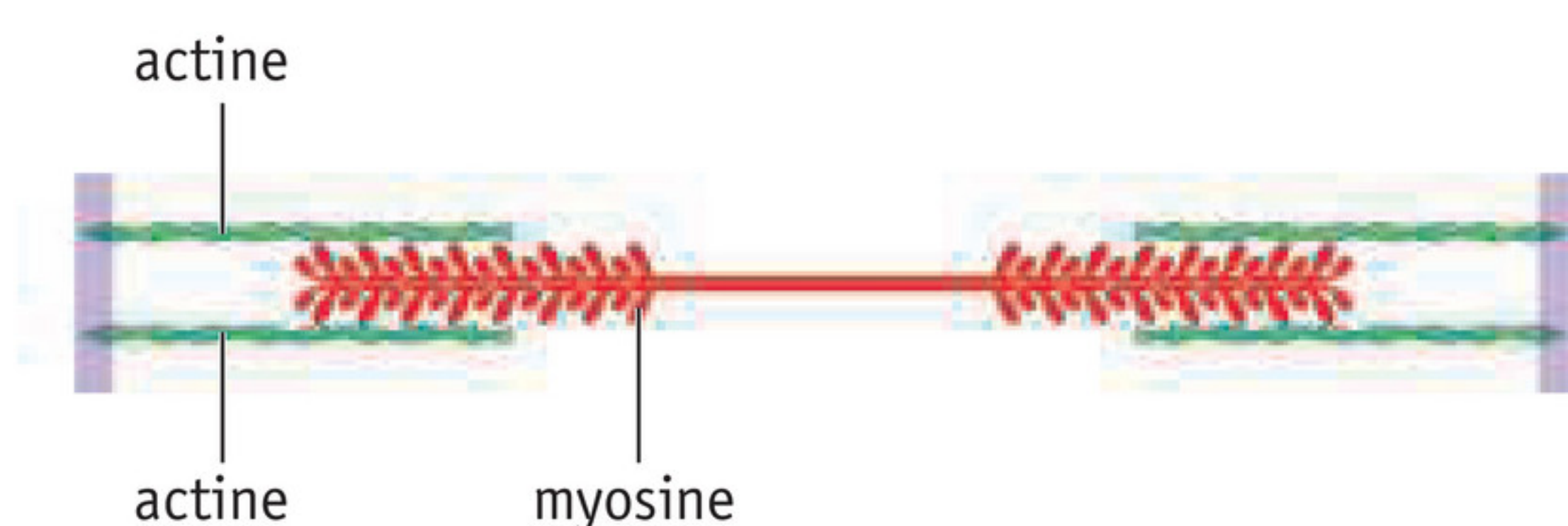
► **Afb. 60** Myofibrillen.



▼ **Afb. 61** Contractie.



1 Actinefilament in rusttoestand.



2 Door de binding van Ca^{2+} -ionen komen bindingsplaatsen vrij.

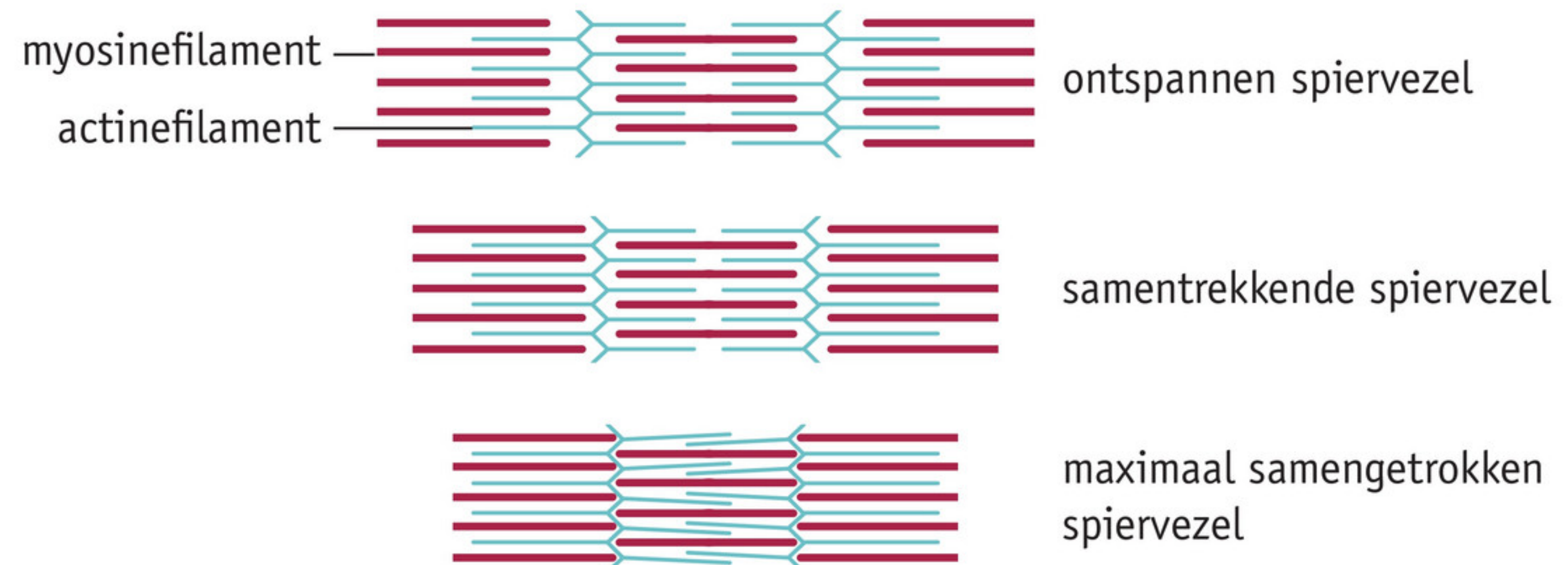


3 De 'koppen' van de myosinemoleculen binden aan de vrijgekomen bindingsplaatsen.

4 De uiteinden van het sarcomeer worden naar elkaar toe getrokken.

De lichte banden van de dwarse streping worden dan smaller. De donkere banden blijven even breed (zie afbeelding 62). Als de bindingen tussen de koppen van de myosinemoleculen en de actinefilamenten worden verbroken, ontspannen de spiervezels weer. Na elke contractie is er in een motorische eenheid een periode van herstel. In deze periode worden afvalstoffen afgevoerd, zuurstof aangevoerd en de voorraad ATP aangevuld.

► **Afb. 62** Het korter worden van een sarcomeer (schematisch).



Als een skeletspier samentrekt, vindt er in de spiervezels veel verbranding van glucose plaats. Hierbij is zuurstof nodig en wordt ATP gevormd. In de spiervezels is een beperkte hoeveelheid glucose en zuurstof aanwezig. Deze hoeveelheid is snel verbruikt.

In een skeletspier komt het eiwit **myoglobine** voor, dat zuurstof bindt. Deze zuurstof dient als reservevoorraad. Als het bloed onvoldoende glucose en zuurstof aanvoert, wordt aan myoglobine zuurstof onttrokken. Ook wordt in de spiervezels glycogeen omgezet in glucose. In de spiervezels kan dan nog steeds verbranding van glucose plaatsvinden.

Wanneer ook myoglobine onvoldoende zuurstof kan leveren, vindt er afbraak van glucose zonder zuurstof plaats. Het melkzuur dat hierbij ontstaat, veroorzaakt een daling van de pH in de spier (**verzuring**). Hierdoor wordt extra zuurstof onttrokken aan bloed en myoglobine. Door de verzuring ontstaat een vermoeid gevoel in de spier. Wanneer bloed en myoglobine niet voldoende zuurstof meer kunnen leveren, wordt melkzuur niet meer omgezet. Het melkzuur veroorzaakt dan spierpijn.

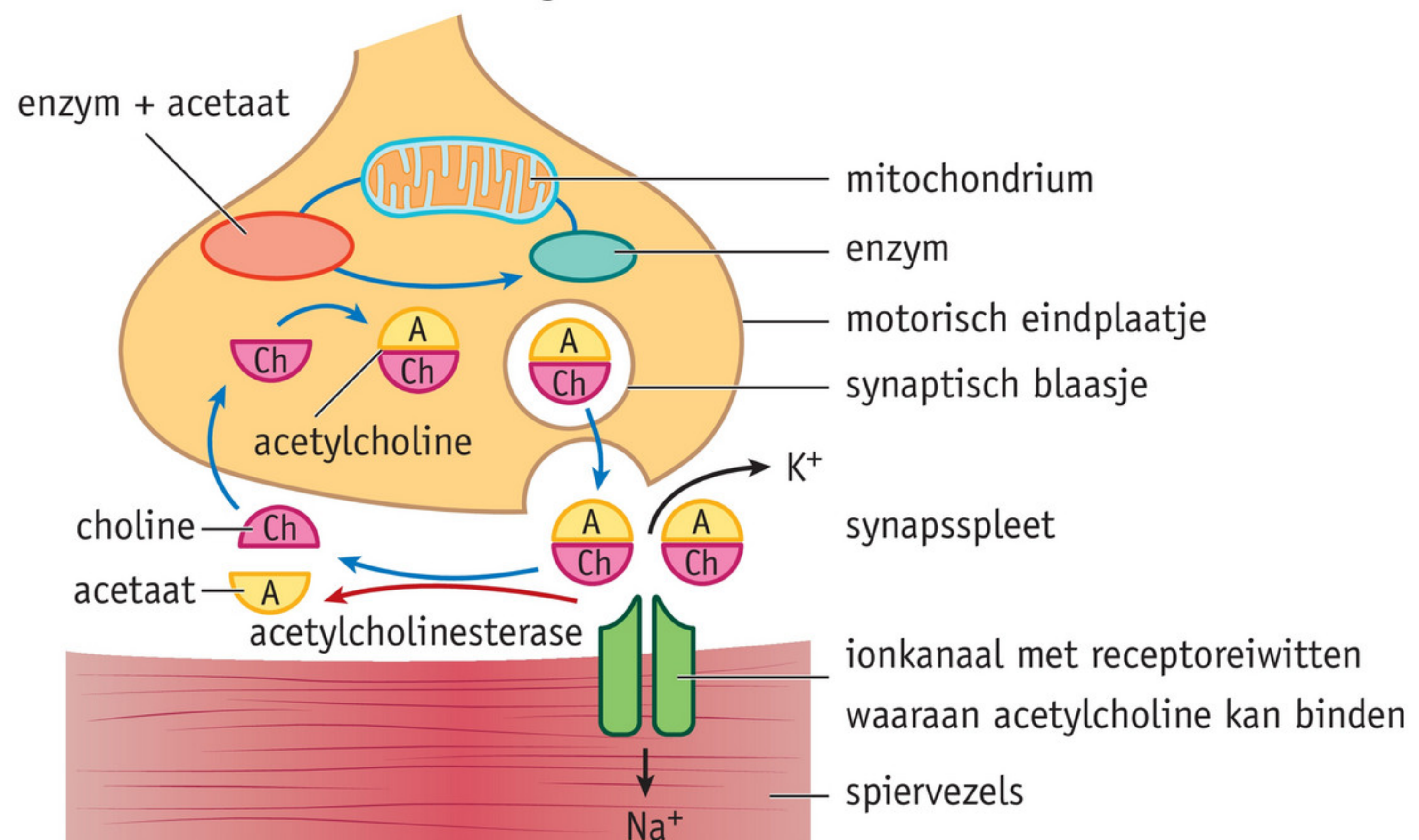
Bij een spier die niet krachtig samentrekt, duurt de herstelperiode in de motorische eenheden relatief lang. De spier kan dan lang samengetrokken blijven voordat ze vermoeid raakt.

opdrachten

- 50** Met een microscoop is te zien dat een dwarsgestreepte spiervezel bestaat uit afwisselend donkere en lichte banden.
- Bevinden zich in de lichte banden actine- of myosinefilamenten? En in de donkere banden?
 - Wat is de functie van de glycogeenkorrels tussen de spierfibrillen?
 - De ziekte van Leigh is een aandoening waarbij de mitochondriën niet goed functioneren. De eerste symptomen van de ziekte zijn een slechte motorische ontwikkeling en stijve spieren. Waardoor functioneren bij een patiënt met de ziekte van Leigh de spieren niet goed?
 - Het aantal spiervezels dat deel uitmaakt van één motorische eenheid is per spier verschillend. Dit hangt samen met de nauwkeurigheid van de bewegingen van de spier. Is het aantal spiervezels in één motorische eenheid in een oogspier groter of kleiner dan in één motorische eenheid in de biceps? Leg je antwoord uit.

- 51 Door het vrijkomen van acetylcholine in de synaptische spleet ontstaat een depolarisatie in het postsynaptisch membraan. Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 88G en 88H).
- Welk ionentransport veroorzaakt de depolarisatie van het membraan van de postsynaptische cel?
 - Acetylcholine is 1 ms na het vrijkomen alweer verdwenen uit de synaptische spleet. Onder invloed van het enzym cholinesterase wordt acetylcholine afgebroken tot azijnzuur en choline. Het acetaat wordt opgenomen door het bloed. De choline wordt opgenomen door de axonuiteinden en daar weer omgezet in acetylcholine. Acetylcholine wordt vervolgens opgenomen in de synaptische blaasjes (zie afbeelding 63).
Sarin is een gevaarlijk zenuwgas dat onomkeerbaar bindt aan cholinesterase.
Leg uit dat hierdoor bij een slachtoffer onder andere spierkrampen ontstaan die tot de verstikkingsdood kunnen leiden.

► **Afb. 63** De vorming en werking van acetylcholine.



▼ **Afb. 64** De werking van spieren bij een lichaamshouding.



HOUDING EN BEWEGING

Bij elke lichaamshouding zijn veel spieren betrokken (zie afbeelding 64). Ook bij het maken van een beweging zijn meestal meerdere spieren betrokken. In een normale, ontspannen toestand is een skeletspier niet maximaal ontspannen. Elk motorisch neuron geleidt zo nu en dan een impuls waardoor de aangesloten motorische eenheid samentrekt. Maar het aantal motorische eenheden dat tegelijkertijd samentrekt, is te klein om een beweging te veroorzaken. De spier oefent daardoor een lichte kracht uit op de aanhechtingsplaatsen van de pezen. Deze kracht noem je de **spiertonus (spierspanning)**. De spiertonus speelt een belangrijke rol bij de handhaving van de lichaamshouding, zoals bij zitten of staan. Ook reflexen kunnen een rol spelen bij de handhaving van de lichaamshouding. Wanneer je rechtop staat, wordt het evenwicht gehandhaafd door middel van reflexen. Zodra je iets naar voren helt, trekken de kuitspieren in een reflex samen. Daardoor wordt het naar voren hellen van het lichaam direct gecorrigeerd, zonder dat je je daarvan bewust bent.

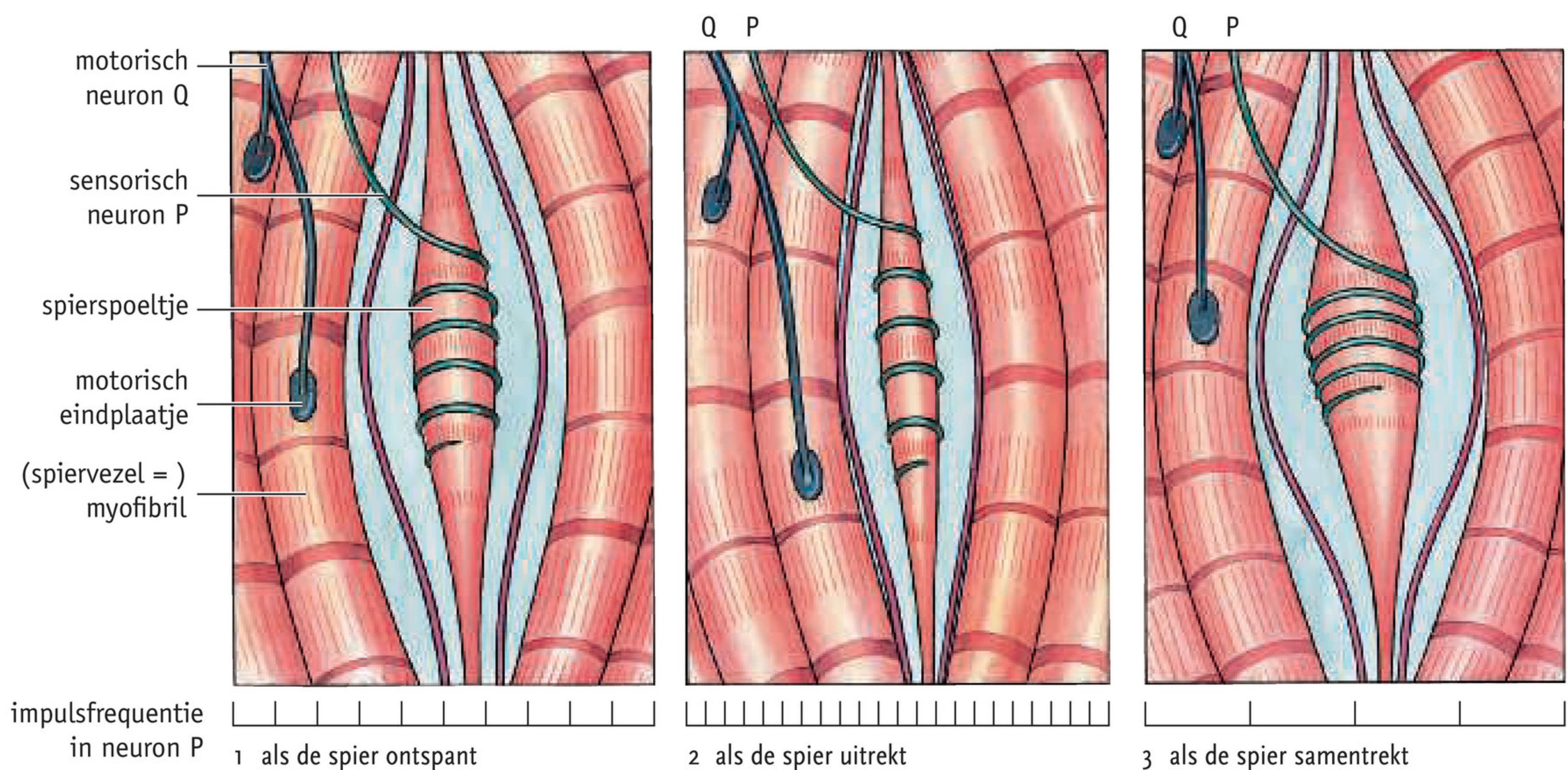
Reflexen ontstaan doordat bij uitrekking van een spier de **spierspoeltjes**, die zich tussen de spiervezels bevinden, worden geprikkeld. In een spierspoeltje bevinden zich gespecialiseerde spiervezels. Het uiteinde van de uitloper van een sensorisch neuron is als een spiraal rondom een spiervezel gewonden (zie afbeelding 65.1). De uiteinden van een spierspoeltje kunnen samentrekken. Het middendeel is alleen uitrekbaar. Wanneer een spier rekt, rekt een spierspoeltje mee. De informatie hierover wordt via het sensorisch neuron doorgegeven aan het centrale zenuwstelsel.

Het centrale zenuwstelsel geleidt vervolgens via een motorisch neuron een impuls naar de spiervezels waardoor die samentrekken en de rek op het spierspoeltje wordt opgeheven. Tegelijkertijd gaat een andere impuls naar de spiervezels in het spierspoeltje. De spiervezels trekken samen en het spierspoeltje wordt weer op spanning gebracht om nieuwe rek op de spier te kunnen waarnemen.

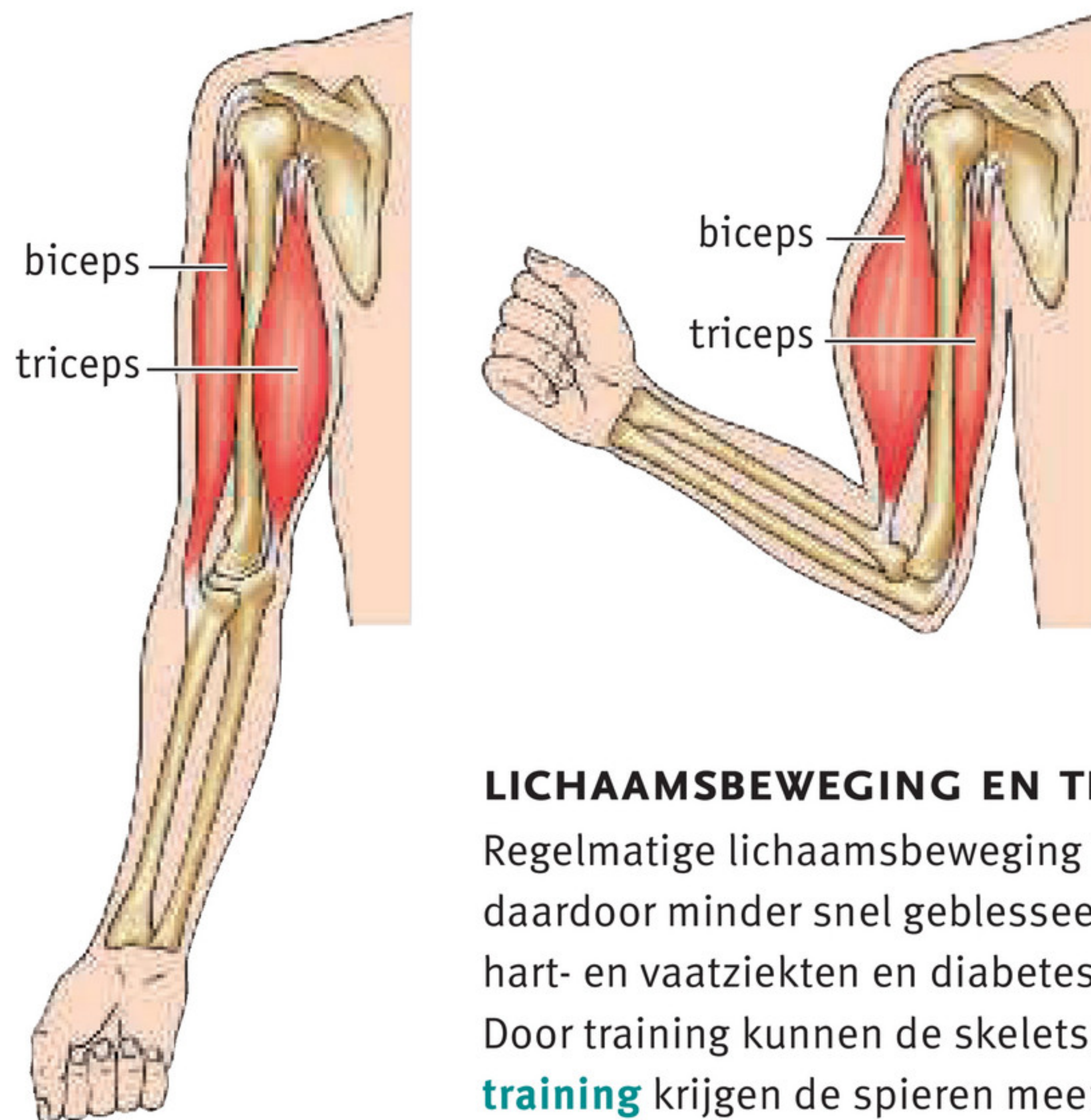
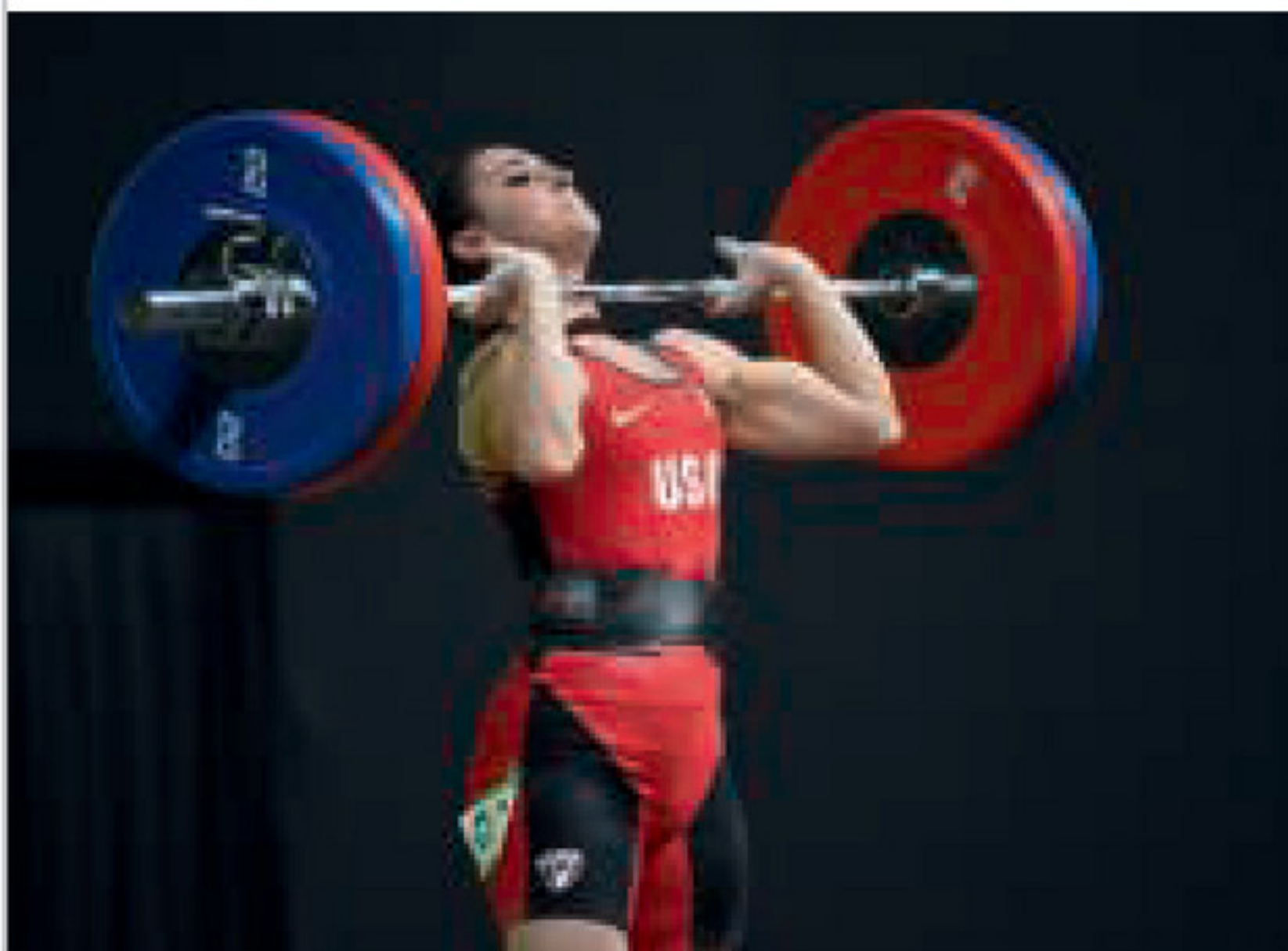
In de overgang van pees naar spier liggen **Golgi-peeslichaampjes** (**peesspoeltjes**). Ze zijn gevoelig voor verandering in de spierspanning.

Peeslichaampjes kunnen via een schakelneuron in het ruggenmerg het motorisch neuron remmen dat verantwoordelijk is voor de rekreflex. De peeslichaampjes maken bewegingen vloeiender en gelijkmatiger. Ze beschermen de spieren ook tegen schade door de spiercontractie iets te dempen, of de spier juist aan te laten spannen bij een snelle verlenging van spieren.

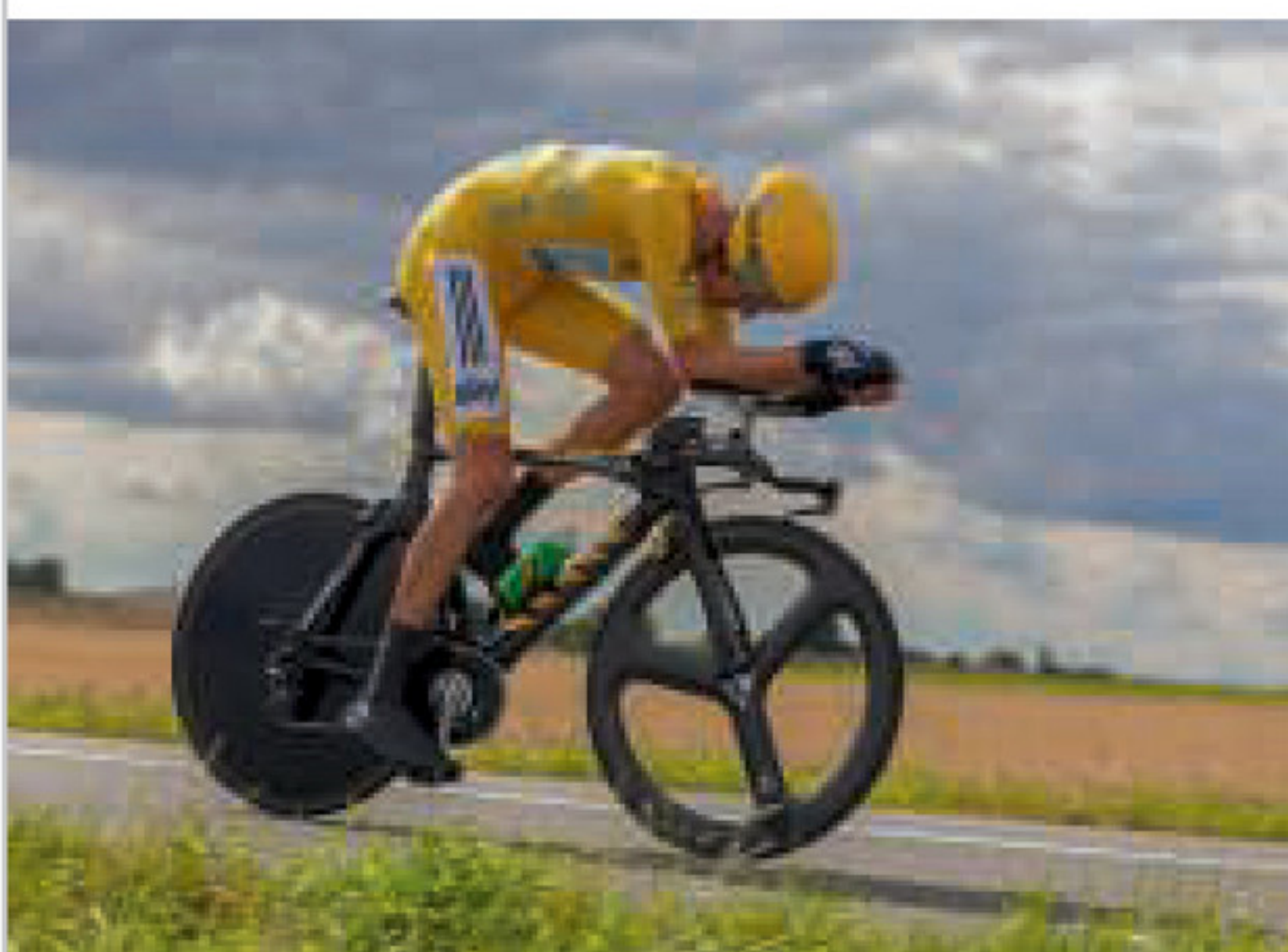
▼ **Afb. 65** De werking van een spierspoeltje in een skeletspier (schematisch).



Een spier kan een been maar in één richting bewegen. **Antagonisten** zijn spieren waarvan de contractie een tegengesteld effect heeft, bijvoorbeeld de biceps en de triceps in de bovenarm (zie afbeelding 66). Door contractie van de biceps buigt de arm. Tegelijkertijd wordt in de triceps de spiertonus verlaagd, waardoor ontspanning (**relaxatie**) optreedt. De biceps ondervindt zo minder weerstand bij het buigen van de arm.

▼ **Afb. 66** Antagonisten in de bovenarm.▼ **Afb. 67** Training.

1 training op kracht



2 training op uithoudingsvermogen

LICHAAMSBEWEGING EN TRAINING

Regelmatige lichaamsbeweging houdt je spieren in een goede conditie. Ze raken daardoor minder snel geblesseerd en de kans op bepaalde ziekten (bijvoorbeeld hart- en vaatziekten en diabetes mellitus) wordt kleiner.

Door training kunnen de skeletspieren betere prestaties leveren. Door **krachttraining** krijgen de spieren meer spiercellen en neemt het aantal filamenten in de myofibrillen toe. De spieren worden dan zwaarder (zie afbeelding 67.1). Bij **duurtraining** train je op uithoudingsvermogen en neemt vooral de doorbloeding van de spieren toe. De spieren worden dan niet zwaarder (zie afbeelding 67.2). Door een training te beginnen met een **warming-up** stimuleer je de bloedsomloop. Daardoor zijn je spieren goed doorbloed. Ze zijn dan minder kwetsbaar dan koude, stijve spieren. Dit voorkomt veel blessures. Ook de stofwisselingsprocessen verlopen dan sneller. Je spieren komen gemakkelijker aan de benodigde zuurstof en glucose waardoor je minder afvalstoffen produceert en ook minder last hebt van spierpijn. Ook de impulsgeleiding neemt toe en dat bevordert je reactievermogen. Een goede warming-up duurt vijftien minuten en begint eenvoudig en rustig met bijvoorbeeld lopen. Door spierversterkende oefeningen en rekoefeningen te doen wordt de warming-up steeds intensiever.

Met een **cooling-down** zorg je ervoor dat je lichaam na het sporten weer tot rust komt en goed kan herstellen. Door rustig te lopen, huppelen of wandelen gaat je hartslag geleidelijk weer omlaag tot een normale hartslag in rust. Tijdens het sporten gaat er relatief veel bloed naar je spieren. Door een cooling-down past je bloedcirculatie zich weer aan en krijgen je andere lichaamsdelen weer meer bloed. Als je na een intensieve inspanning plotseling stopt, kun je duizelig worden doordat je bloedcirculatie dan niet rustig heeft kunnen herstellen. Je sluit een cooling-down af met rekoefeningen en een douche waarbij je warm en lauw water afwisselt. Dit bevordert de afvoer van afvalstoffen uit de spieren en voorkomt daardoor stijfheid en spierpijn.

DOPING

Sommige sporters gebruiken **doping** om hun sportieve prestaties te bevorderen. Spierversterkende middelen bevatten vaak **anabole steroïden**. De werking is vergelijkbaar met de werking van testosteron. Anabole steroïden zetten het lichaam aan om meer spierweefsel te vormen zodat de spiermassa van een sporter toeneemt. Anabole steroïden stimuleren ook de aanmaak van rode bloedcellen waardoor het bloed meer zuurstof kan transporteren. Dit vergroot het uithoudingsvermogen van een sporter. Toediening van het hormoon epo (erythropoëetine) stimuleert ook de aanmaak van rode bloedcellen en vergroot het uithoudingsvermogen van de sporter. Het effect van ingespoten epo kan ongeveer

▼ **Afb. 68** Striae door een snelgroeiende spiermassa.



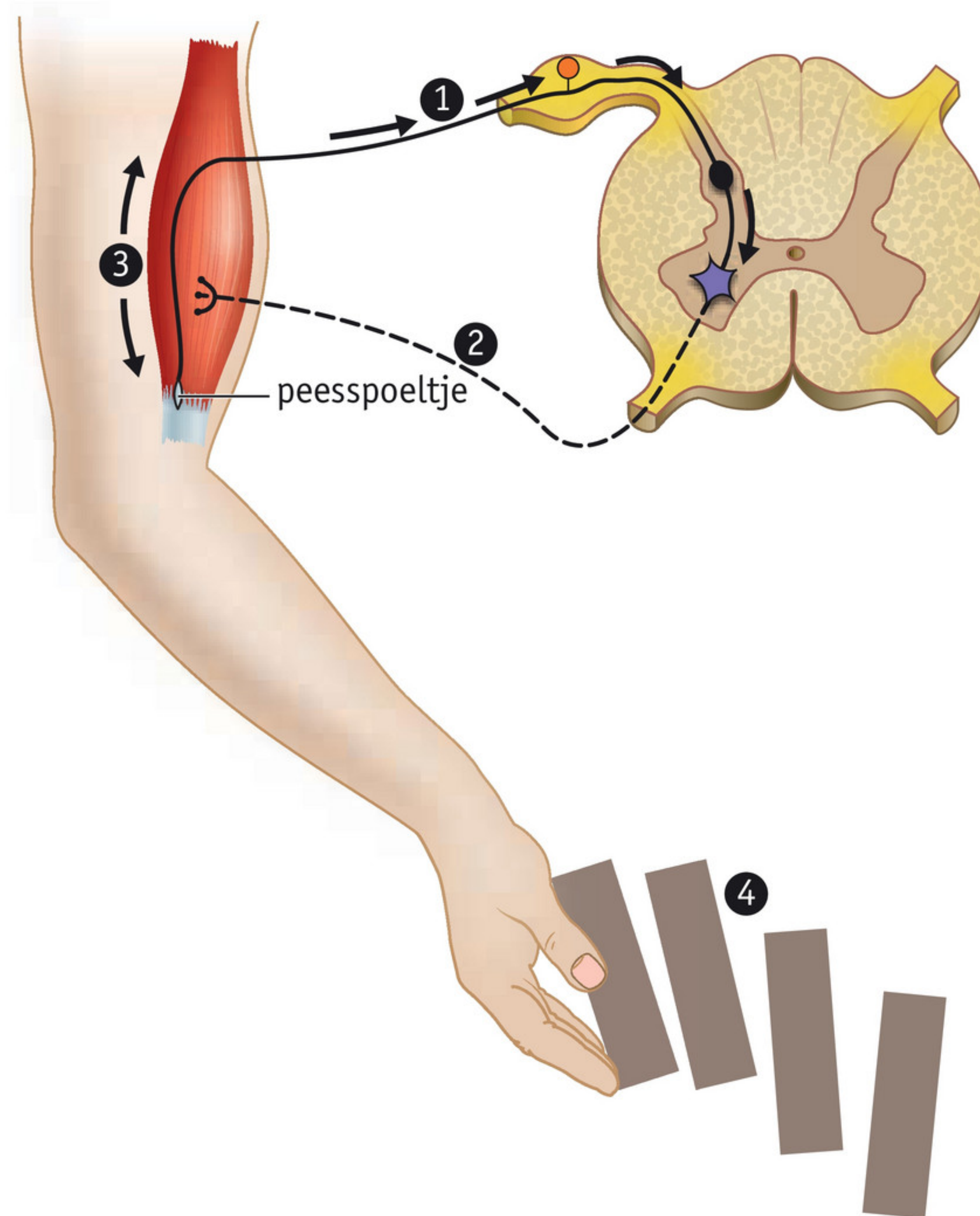
drie maanden duren.

Het gebruik van doping heeft bijwerkingen en brengt soms grote medische risico's met zich mee. Sommige stimulerende middelen onderdrukken het gevoel van vermoeidheid. Doordat een sporter dan niet meer voelt hoe ver hij kan gaan, kan dat leiden tot uitputtingsverschijnselen. Door het gebruik van anabole steroïden kunnen mannen 'vrouwelijker' worden. Ze zijn bijvoorbeeld seksueel minder actief of impotent, produceren minder sperma, ontwikkelen borsten, hun teelballen krimpen en urineren doet pijn door vergroting van de prostaat. Vrouwen krijgen door de inname van anabole steroïden vaak mannelijkere kenmerken, zoals meer gezichtsbeharing en een lagere stem. Ook neemt de borstomvang af en wordt de menstruatiecyclus verstoord. Bij langdurig gebruik van anabole steroïden treden zowel bij mannen als vrouwen bijwerkingen op: een vette huid met acne, het ontstaan van striae door de snel groeiende spiermassa (zie afbeelding 68), een opgeblazen gevoel, toename van het gewicht, bloedstollingsziekten, leverschade, een vergrote kans op hartaandoeningen of een beroerte, een hoger cholesterolgehalte van het bloed en zwakkere pezen.

opdrachten

- 52** Iemand kan er uitgerust of moe uitzien. Dit wordt veroorzaakt door een verschillende spiertonus van de gelaatsspieren. Leg dat uit.
- 53** In afbeelding 65 is een spierspoeltje in een skeletspier getekend in drie situaties: ontspannen, uitgerekt en samengetrokken. Onder elke getekende situatie is de impulsfrequentie in het aangesloten sensorische neuron P weergegeven.
- a** Als de spier ontspannen is, geleidt neuron P impulsen met een bepaalde frequentie.
Leg uit waarom in deze situatie het ontbreken van impulsen niet functioneel zou zijn.
 - b** De spier trekt samen onder invloed van impulsen die door neuron Q worden aangevoerd.
Is de impulsfrequentie in neuron Q evenredig aan die in neuron P, of omgekeerd evenredig? Leg je antwoord uit.
 - c** In afbeelding 65.2 wordt de spier uitgerekt. Bij veel skeletspieren heeft zo'n situatie tot gevolg dat de spier reflexmatig samentrekt.
Leg uit dat deze samentrekking een gevolg is van negatieve terugkoppeling.
- 54** Wanneer een spier te zwaar wordt belast, ontstaat in het peeslichaampje een reflex om de spier te beschermen. In afbeelding 69 is dit schematisch weergegeven.
- a** Noteer de cijfers 1 tot en met 4 onder elkaar en maak de juiste combinaties. Kies uit: *de lading valt – de spier ontspant – motorisch neuron – sensorisch neuron*.
 - b** Neemt de impulsfrequentie in neuron 2 toe of af? Leg je antwoord uit.

► **Afb. 69** De werking van een peesspoeltje in een skeletspier.



- 55 Clenbuterol is een anabole steroïde. Soms beweren sporters na een positieve dopingtest dat clenbuterol in hun bloed is terechtgekomen door het eten van vervuild vlees.
- Waarom zou een veehouder clenbuterol aan zijn dieren toedienen?
 - Welk type doping wordt vooral tijdens of vlak voor een belangrijke wedstrijd gebruikt? En welk type in de maanden voorafgaand aan een belangrijke wedstrijd?
 - Soms wordt bij een topsporter enkele weken voor een belangrijke wedstrijd bloed afgetapt. Vlak voor de wedstrijd krijgt de sporter dan een transfusie met zijn eigen bloed (bloeddoping).
Leg uit hoe dit kan leiden tot betere prestaties tijdens de wedstrijd.

WAARSCHIJNLIJKHEID EN ONZEKERHEID

Uit verschillende natuurwetenschappelijke onderzoeken is gebleken dat doping gevaarlijk kan zijn voor de gezondheid van een sporter. Bij een natuurwetenschappelijk onderzoek wordt meestal het verschil tussen twee of meer groepen onderzocht. Soms zijn de verschillen tussen twee groepen klein. Het is dan de vraag of het verschil tussen beide groepen niet door het toeval is veroorzaakt. Met statistiek bepalen onderzoekers de **waarschijnlijkheid** dat dit verschil niet door toeval is veroorzaakt. Wetenschappers hebben afspraken gemaakt over welke **onzekerheid** daarbij wordt geaccepteerd.

Met behulp van een statistische toets kan een **p-waarde** worden berekend. De **p-waarde** is de kans dat er geen verschil is tussen de proefgroep en de controlegroep. Als de **p-waarde** klein is, spreek je van een **significant** verschil tussen de onderzochte groepen. Het is gebruikelijk om de **p-waarde** van 0,05 of lager als een significant verschil te beschouwen. Er is dan een kans van 5% of minder dat het verschil tussen de onderzochte groepen op toeval berust. Een

statistische toets die een p -waarde van 0,01 of kleiner oplevert, geeft een zeer significant verschil aan. De onzekerheid is dan erg klein dat het verschil op toeval berust en de waarschijnlijkheid is groot dat er een verschil bestaat dat niet op toeval berust.

BETROUWBAAR EN VALIDE ONDERZOEK

Het gebruik van doping is verboden als het de sportieve prestaties bevordert en/of in strijd is met een eerlijke sportbeoefening in wedstrijdverband. Het gebruik ervan wordt tegengegaan door dopingcontroles bij belangrijke wedstrijden en in de periode daaraan voorafgaand. De urine van sporters wordt dan onderzocht op de aanwezigheid van verboden stoffen. Worden deze stoffen aangetroffen, dan kan de sporter gediskwalificeerd worden. Dit onderzoek moet dus nauwkeurig gebeuren zonder toevallige fouten, zoals het verkeerd aflezen van de waarden. Je spreekt van een **betrouwbaar onderzoek** wanneer het (zo veel mogelijk) dezelfde resultaten oplevert als het enkele keren wordt herhaald. Er kunnen ook systematische fouten optreden. Er wordt dan constant een te hoge of te lage waarde waargenomen of een andere eigenschap gemeten dan was bedoeld. Wanneer onderzoek zo min mogelijk systematische fouten bevat, spreek je van een **valide onderzoek**.

opdrachten

- 56** Onderzoekers willen meten of sporters na het nemen van een drankje met opwekkende stoffen sneller lopen. De sporters doen eerst een snelheidstest zónder drankje, daarna mét een drankje. Het onderzoek wordt op twee manieren uitgevoerd:
 Onderzoek 1: elke proefpersoon krijgt één drankje van 0,2 L.
 Onderzoek 2: de hoeveelheid drank is afhankelijk van het lichaamsgewicht (in kg) van de sporters.
- a** Welk onderzoek is valide? Leg je antwoord uit.
 - b** Meldonium is een geneesmiddel dat wordt gebruikt bij de behandeling van hartproblemen. Bij patiënten zou het middel de zuurstofvoorziening van de hartspier verbeteren. Sporters gebruiken meldonium soms om hun inspanningsprestaties te verbeteren. Sinds 1 januari 2016 staat het middel op de dopinglijst. Er is nog onvoldoende wetenschappelijke informatie over wanneer meldonium precies uit het lichaam van de sporter is verdwenen en hoelang het nog te traceren is in urine.
 Schaatsers die deelnamen aan een belangrijke wedstrijd op 1 maart 2016 werden op de wedstrijddag getest op het gebruik van meldonium. Een aantal van hen werd positief bevonden.
 Is de uitslag van deze dopingtest betrouwbaar? Leg je antwoord uit.
- 57** Een bioloog onderzoekt een verschil tussen de experimentegroep en de controlegroep. De statistische toets die hij hierbij gebruikt, resulteert in een p -waarde van 0,07.
- a** Blijkt hieruit dat er een significant verschil is tussen beide groepen? Leg je antwoord uit.
 - b** Hoe groot is bij een p -waarde van 0,07 de onzekerheid en hoe groot is de waarschijnlijkheid dat het verschil tussen de experimentegroep en de controlegroep wordt veroorzaakt door toeval? En is deze onzekerheid geaccepteerd in de wetenschap?

CONTEXT

Wetenschap/Leefwereld

Een killerbody

▼ Afb. 70 Filemon.



Twintig procent van alle Nederlanders ouder dan 15 jaar doet aan fitness, onder andere om er beter uit te zien. Presentator Filemon Wesselink was gefascineerd door dit gegeven en dook voor zijn tv-programma in de wereld van fitness. Zijn doel: door training net zo'n killerbody krijgen als zijn collega's Arie Boomsma en Waldemar Torenstra. En uiteindelijk wilde hij op de cover staan van het meest toonaangevende fitnessblad van Nederland. Al snel wordt duidelijk dat het lichaam van Filemon door de trainingen niet snel verandert. Wat doen anderen bij zo'n soort tegenslag? Filemon wilde weten wat het effect is als je anabole steroïden gebruikt om grotere spieren te krijgen. Hij meldde zich aan als proefpersoon in een grootschalig Nederlands onderzoek en ging intensief trainen mét gebruik van anabole steroïden. Hij onderzocht wat voor hem de lichamelijke en psychische gevolgen waren en wat de drijfveer van mensen is om vaak in de sportschool te zijn.

opdracht

- 58 De teelballen van Filemon blijken na een tijdje te zijn gekrompen. Wanneer een man anabole steroïden gebruikt, kan zijn vruchtbaarheid afnemen doordat hij minder zaadcellen produceert.
- a Leg uit hoe dit komt. Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 89C).
 - b Is het gebruik van anabole steroïden een voorbeeld van negatieve of van positieve terugkoppeling? Leg je antwoord uit.
 - c Zou je zelf anabole steroïden gebruiken om een gespierder of strakker lichaam te krijgen? Leg je antwoord uit.
 - d Het is Filemon gelukt om in het meest toonaangevende fitnessblad van Nederland te verschijnen. Maar niet op de cover, want daar wilde het betreffende magazine niet aan meewerken vanwege het feit dat Filemon anabolen heeft gebruikt om zijn gespierde body te bereiken. Vind je het besluit van de redactie van het magazine terecht? Leg je antwoord uit.

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Doe online de verrijkingsstoffen, flitskaarten en Test Jezelf.
- Ga in het boek verder met de Samenhang en de Examentrainer.

Leerdoelen

- Je kunt de hypothalamus-hypofyse-bijnier-as toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheid evolutionair denken toepassen op de hormonale en neurologische regulatie bij mensen.

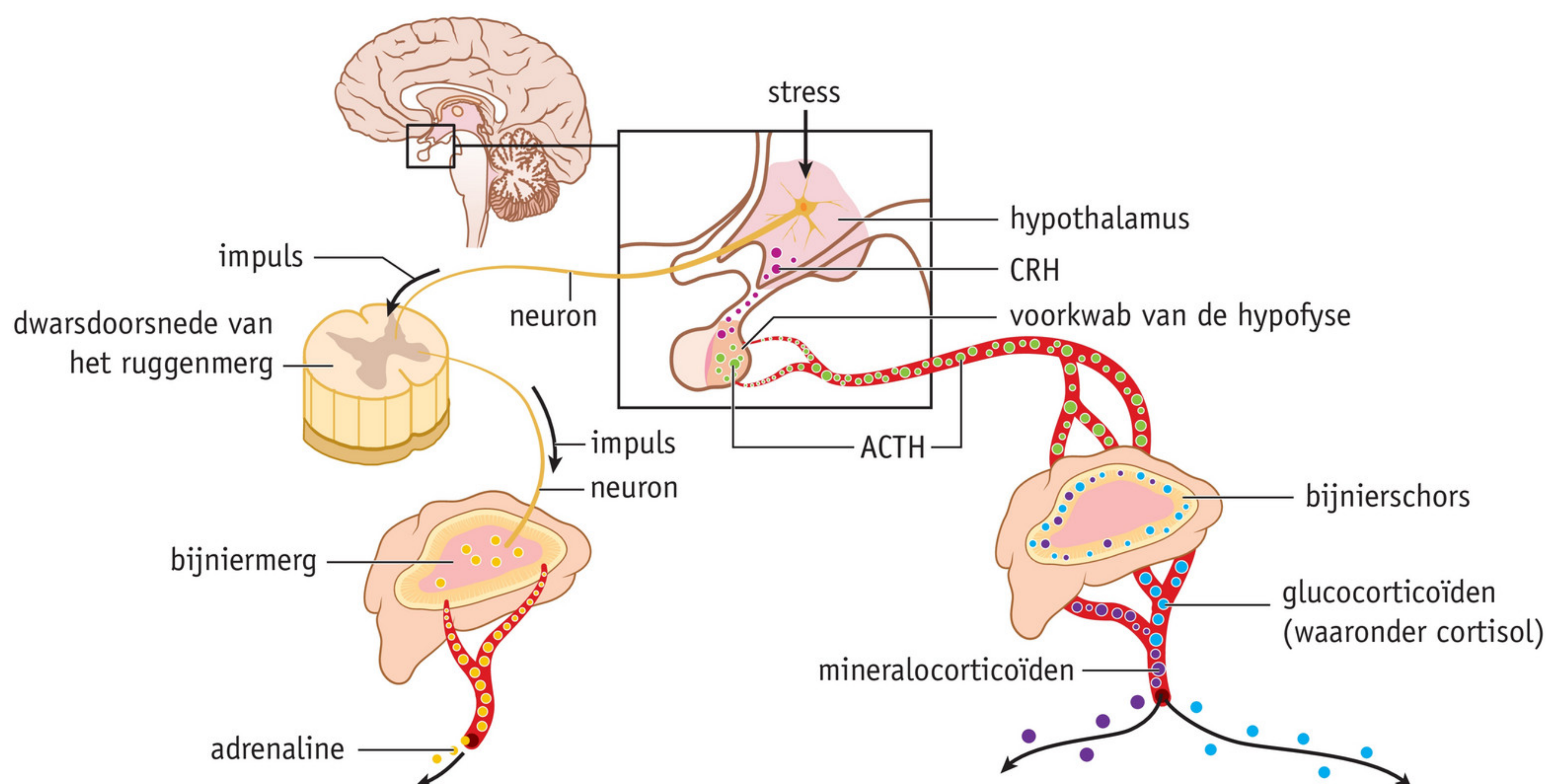
Stop met stressen!

Huiswerk, toetsen, volle e-mailboxen, berichten op je smartphone, deadlines, examens, de dagelijkse schoolsleur, slaapttekort, keuzen maken en verwachtingen van je ouders. En alles wat je doet of besluit, lijkt belangrijk.

Naast stress over school- en studiezaken geeft een op de drie jongeren aan wekelijks stress te hebben over hun sociale leven en bijna een kwart over zaken die zich afspelen in het gezin. Slechts een op de tien jongeren zegt stress te ondervinden door social media. Wel geeft ruim een derde aan dat het leven een stuk relaxter zou zijn zonder. Evolutionair gezien is acute stress belangrijk. Het zorgt ervoor dat je lichaam snel tot actie kan overgaan wanneer dat nodig is. Stress verhoogt ook je concentratie en alertheid zodat je optimaal kunt reageren en beter kunt onthouden. Acute stress vergroot hierdoor je overlevingskans.

Een stressreactie bestaat uit een snelle, kortdurende respons en een langzamere respons die langer aanhoudt (zie afbeelding 1). De snelle, kortdurende respons leidt tot de afgifte van adrenaline door het bijniermerg. De langzamere respons leidt onder andere tot de afgifte van het stresshormoon cortisol. Dit hormoon zorgt ervoor dat van bepaalde eiwitten in je spieren glucose wordt gemaakt. Zo wordt het verlies van energie door de snelle, kortdurende stressreactie gecompenseerd. Cortisol onderdrukt ook het immuunsysteem, remt ontstekingsreacties en bevordert leer- en geheugenprocessen. En het is belangrijk voor het herstel bij een stressreactie. Het remt de neuronen van de hypothalamus om CRH aan te maken. Langdurige afgifte van cortisol bij chronische stressreacties heeft een negatief effect op het lichaam. Hart- en vaatziekten, slaapproblemen, depressie, geheugenproblemen, een immuunsysteem dat minder goed werkt en een burn-out kunnen hiervan het gevolg zijn.

▼ **Afb. 1** Het verloop van een stressreactie: de hypothalamus-hypofyse-bijnier-as.



Snelle, kortdurende respons

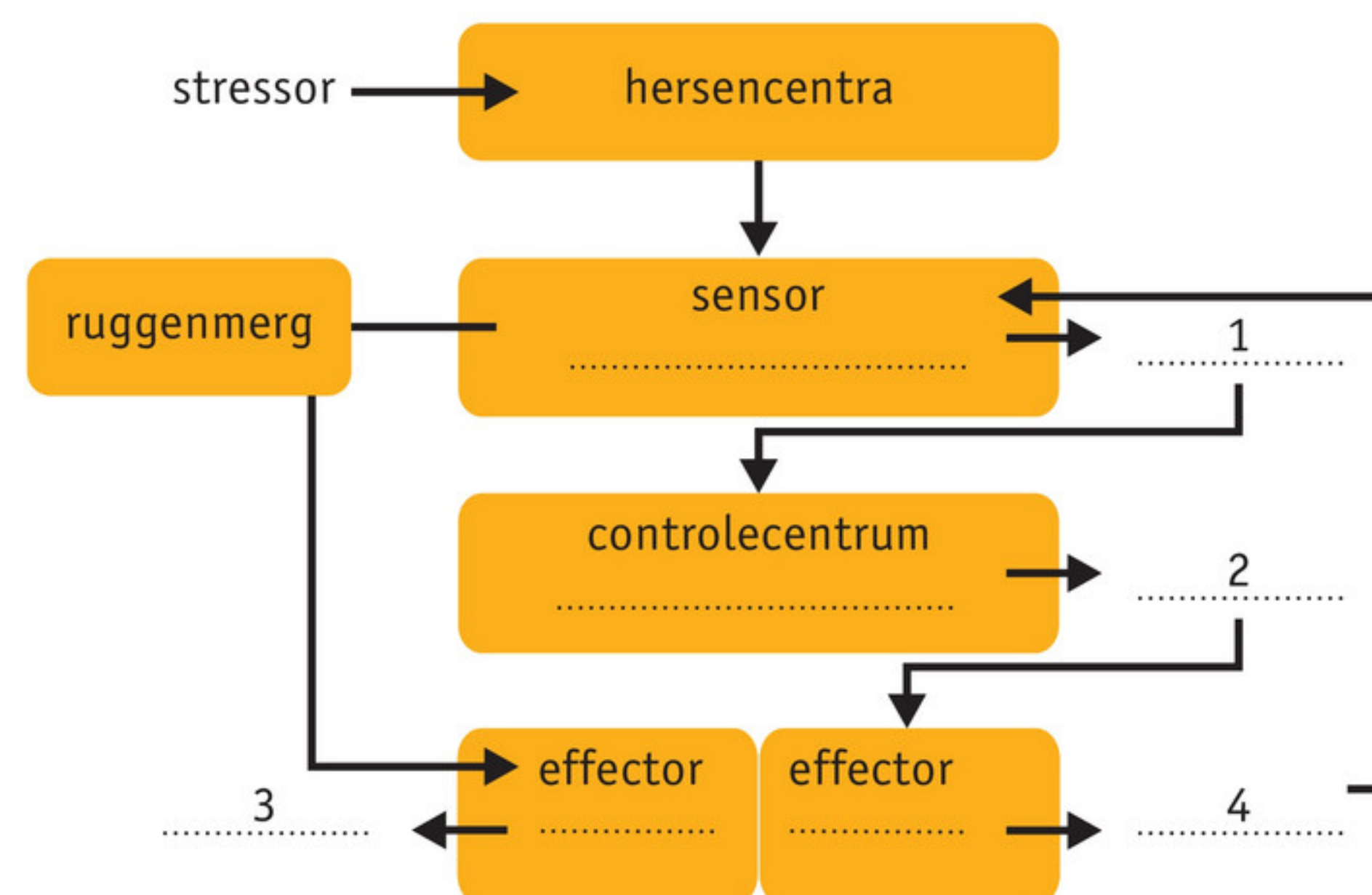
- Glycogeen wordt omgezet in glucose.
- Bloeddruk neemt toe.
- Hart klopt sneller.
- Ademhaling versnelt.
- Bloedvaten naar spieren en hersenen verwijden.
- Organen van het verteringsstelsel worden geremd.

Langzame respons die langer aanhoudt

- Natriumionen en water worden opgenomen door de spieren.
- Bloedvolume en bloeddruk nemen toe.
- Eiwitten en vetten worden afgebroken en omgezet in glucose.
- Immuunsysteem wordt onderdrukt.
- Neuronen in de hypothalamus worden geremd om CRH af te geven.

Organisatie-niveau	Begrip
Biosfeer	-
Ecosysteem	-
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

► **Afb. 2** Schema van de hypothalamus-hypofyse-bijnier-as.



- 1 Neem het schema over en noteer begrippen uit de tekst bij het passende organisatieniveau.
- 2 Neem het schema van afbeelding 2 over.
 - a Noteer onder sensor, controlecentrum en effector de namen van de juiste organen of weefsels en bij elk nummer de naam van het juiste hormoon.
 - b Welk hormoon is een releasing hormoon?
 - c De afgifte van cortisol wordt geremd. Is hierbij sprake van een negatieve terugkoppeling of van positieve terugkoppeling? Leg je antwoord uit.
 - d Normaal merken neuronen in de hersenen een verhoogde cortisolspiegel op. Bij chronische stress raken deze neuronen beschadigd door de aanhoudende hoge cortisolspiegel. Wat is het effect hiervan op de cortisolspiegel?
 - e Wat is het effect hiervan op de neuronen in de hersenen die een verhoogde cortisolspiegel moeten opmerken?
- 3 Bij chronische stress wordt de balans tussen het orthosympathische en parasympathische deel van het autonome zenuwstelsel verstoord. Welk deel van het autonome zenuwstelsel is het meest actief bij chronische stress? Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 88L). Leg je antwoord uit.
- 4 Een aantal kinderen was een dag in een ingestorte mijn opgesloten. De kinderen die geen actie ondernamen, hielden daar bijna allemaal klachten aan over zoals slapeloosheid, depressieve buien en geheugenstoornissen. De kinderen die waren gaan graven, hielden er geen klachten aan over.
 - a Welke conclusie kun je hieruit trekken?
 - b In een omgeving met wilde dieren en vijanden zijn stressreacties belangrijk om snel te kunnen vluchten of vechten. Tegenwoordig ontstaan stressreacties vaak door stressoren van psychische aard en is vluchten of vechten geen optie. Stressreacties kunnen tegenwoordig leiden tot een burn-out. Leg dit uit.
 - c Veel mensen weten nog op welke plek ze waren toen ze hoorden dat twee vliegtuigen op 11 september 2001 in de Twin Towers in New York waren gevlogen. Hoe kun je dit verklaren?
- 5 Je kunt het cortisolgehalte bij mensen meten in het speeksel. Uit een wetenschappelijk onderzoek bleek dat in klassen met een docent die uitgeput is of een sterke mate van burn-out ervaart, het cortisolgehalte in het speeksel van de leerlingen hoger is.
 - a Welke conclusie kun je trekken uit dit onderzoek?
 - b Bedenk een werkplan waarmee je het onderzoek kunt herhalen.

practicumopdracht 1

MATERIAAL

- een horloge of mobiele telefoon met stopwatch of een stopwatch

► Afb. 1 De Strooptest.

Practica

De Strooptest

► BASISSTOF 3

Je bent waarschijnlijk zo getraind in het lezen van gedrukte woorden dat je ze niet kunt negeren, zelfs niet als je het probeert. John Ridley Stroop ontdekte in 1930 dat je hersenen in staat zijn om impulsen te onderdrukken. In deze practicumopdracht onderzoek je het Stroop-effect.

ONDERZOEKSVRAAG

Bestaat er een verschil in de snelheid waarmee je de kleuren van woorden opnoemt waarbij de kleur van een woord overeenkomt met de naam van de kleur en waarbij de kleur van een woord afwijkt van de naam van de kleur?

HYPOTHESE

Stel een hypothese op.

METHODE

- Je werkt in deze practicumopdracht met zijn tweeën.
- Bekijk afbeelding 1.
 - Dek afbeelding 1.2 af met een blanco, wit papier.
 - De proefpersoon noemt zo snel mogelijk achter elkaar de kleuren van de woorden van afbeelding 1.1 op, terwijl de ander de tijd opneemt. Noteer de eindtijd van de proefpersoon.
 - Dek vervolgens afbeelding 1.1 af.
 - De proefpersoon noemt zo snel mogelijk achter elkaar de kleuren van de woorden van afbeelding 1.2 op, terwijl de ander de tijd opneemt. Noteer de eindtijd van de proefpersoon.
 - Wissel van rol en herhaal het experiment.
 - Vergelijk na afloop de resultaten met elkaar.

Rood	Roze	Oranje	Zwart
Groen	Paars	Blauw	Rood
Blauw	Bruin	Groen	Grijs
Geel	Rood	Roze	Paars

1

Rood	Roze	Oranje	Zwart
Groen	Paars	Blauw	Rood
Blauw	Bruin	Groen	Grijs
Geel	Rood	Roze	Paars

2

practicumopdracht 2

MATERIAAL

- een klaargemaakt preparaat van een dwarsdoorsnede van het ruggenmerg
- een microscoop (eventueel kun je een loep gebruiken)

practicumopdracht 3

MATERIAAL

- een houten hamertje of een liniaal (je kunt ook de zijkant van je hand gebruiken)

▼ Afb. 2 De kniepeesreflex.



RESULTATEN

Noteer je tijdwaarnemingen in een tabel.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

- 1 Welke conclusie kun je trekken?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vraag.

- 2 Hoe kun je je conclusie verklaren?

Het ruggenmerg

►► BASISSTOF 3

In deze practicumopdracht onderzoek je een klaargemaakt preparaat van een dwarsdoorsnede van het ruggenmerg met een microscoop.

METHODE

Bekijk het preparaat bij de kleinste vergroting.

RESULTATEN

- Maak een tekening van het ruggenmerg.
- Zet de namen bij de delen.
- Geef aan op welke plaatsen zich de cellichamen van schakelneuronen en motorische neuron bevinden.

De kniepeesreflex

►► BASISSTOF 4

Het animale zenuwstelsel regelt bewuste en onbewuste reacties. In deze practicumopdracht onderzoek je een prikkel waarop een vaste, onbewuste reactie volgt.

METHODE

Je werkt in deze practicumopdracht met zijn tweeën.

- Leg je rechterbeen over je linkerknie. Zorg ervoor dat je rechtervoet de grond niet raakt en dat je onderbeen ontspannen hangt.
- Laat je klasgenoot voelen waar de onderkant van je knieschijf zit. Hieronder bevindt zich de aanhechtingsplaats van de kniepees.
- Vervolgens geeft je klasgenoot op deze plaats een zachte tik met het hamertje, de liniaal of de zijkant van zijn hand.

RESULTATEN

Beantwoord de volgende vragen.

- 1 Hoe reageerde je onderbeen op de tik?
- 2 Heb je deze beweging bewust willen maken?
- 3 Voelde je de tik vóór of na het begin van de reactie?

practicumopdracht 4**MATERIAAL**

- klaargemaakte preparaten van glad en dwarsgestreept spierweefsel
- een microscoop

practicumopdracht 5**Glad en dwarsgestreept spierweefsel**

►► BASISSTOF 6

Er bestaan verschillende typen spierweefsel. In deze practicumopdracht onderzoek je met een microscoop preparaten van glad en dwarsgestreept spierweefsel.

METHODE

Bekijk de preparaten bij een vergroting van 400×.

RESULTATEN

- Maak van elk type weefsel een tekening van enkele spiercellen of spiervezels.
- Zet de namen bij de delen.

Beweegtest

►► BASISSTOF 6

Veel mensen brengen hun dag grotendeels zittend door. Daarom is de Nederlandse Norm Gezond Bewegen (NNGB) vastgesteld. Je voldoet aan de norm als je minimaal zestig minuten per dag beweegt. In deze practicumopdracht onderzoek je of jij aan de beweegnorm voldoet.

ONDERZOEKSVRAAG

Voldoe ik aan de beweegnorm?

HYPOTHESE

Stel een hypothese op.

METHODE

Noteer een week lang hoeveel tijd je per dag besteedt aan de verschillende activiteiten die in de tabel worden genoemd. Een activiteit telt alleen mee als je deze minimaal tien minuten achter elkaar doet, als je voelt dat je hart sneller klopt en je licht gaat zweten.

Actiemomenten zijn alle activiteiten die minimaal tien minuten duren en waardoor je hartslag omhooggaat. Denk ook aan activiteiten als grasmaaien en stofzuigen.

RESULTATEN

- Vul in de tabel in hoeveel minuten je per dag aan verschillende activiteiten van de beweegtest hebt besteed.
- Tel het aantal minuten dat je aan de verschillende activiteiten hebt besteed per dag bij elkaar op.

Activiteiten	Zondag	Maandag	Dinsdag	Woensdag	Donderdag	Vrijdag	Zaterdag
	Tijdsduur (in min)	Tijdsduur (in min)	Tijdsduur (in min)	Tijdsduur (in min)	Tijdsduur (in min)	Tijdsduur (in min)	Tijdsduur (in min)
Fietsen							
Lopen							
Actiemomenten							
Sporten							
Totaal							

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

1 Voldoe jij aan de beweegnorm? Leg je antwoord uit.

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vraag.

2 Waarom is je onderzoek wel of niet betrouwbaar? Leg je antwoord uit.

Samenvatting

LEERDOEL 1 ►► BASISSTOF 1

Je kunt beschrijven hoe regelkringen een rol spelen bij het handhaven van de homeostase bij de mens.

- Homeostase: het in stand houden van een dynamisch evenwicht in het inwendige milieu van organismen.
 - Een regelkring bestaat uit een sensor, een controlecentrum en een effector.
 - Via regelkringen worden bepaalde normwaarden gehandhaafd. Hierdoor is er een dynamisch evenwicht.
 - Bij negatieve terugkoppeling heeft het resultaat van een proces een remmende invloed op het proces.
 - Bij positieve terugkoppeling versterkt een toename van het resultaat het proces.
- Homeostase is een voorbeeld van zelfregulatie op het organisatieniveau organisme.
- Bij homeostase in meercellige organismen vindt communicatie tussen cellen plaats met signaalmoleculen, zoals hormonen en neurotransmitters.

LEERDOEL 2 ►► BASISSTOF 2

Je kunt beschrijven op welke manieren hormonen de cellen van weefsels en organen kunnen beïnvloeden.

- Hormoonklieren (endocriene klieren) geven hormonen af aan het bloed (secretie).
- Exocriene klieren (zweetklieren, speekselklieren) geven hun product af via een afvoerbuys.
- Hormonen regelen de werking van doelwitorganen waarvan de cellen receptoren bezitten waaraan het hormoon kan binden.
 - Een hormoon kan processen in meerdere doelwitorganen regelen.
 - De mate van reactie van doelwitorganen wordt onder andere bepaald door de hormoonspiegel (hormoonconcentratie) van een hormoon en het aantal receptoren op de celmembranen van de cellen.
 - Hormonen reguleren vooral geleidelijke veranderingen.
- De werking van hormonen die door het celmembraan heen kunnen: een hormoonmolecuul bindt aan een receptoreiwit in het cytoplasma van een doelwitcel. Er wordt een hormoon-receptorcomplex gevormd dat via een kernporie naar het kernplasma wordt getransporteerd. Daar kan het bepaalde genen in het DNA aan- of uitzetten. Wanneer een gen aan staat, kan de cel eiwitten maken. De gevormde eiwitmoleculen kunnen verschillende functies hebben.
- De werking van hormonen die binden aan een receptoreiwit aan de buitenzijde van het celmembraan van een doelwitcel:

- Aan de binnenzijde van het celmembraan wordt een second messenger geactiveerd of gevormd. Deze kan bijvoorbeeld een enzym activeren. Het geactiveerde enzym kan het signaal doorgeven aan een volgend signaalmolecuul, een specifieke reactie op gang brengen in het cytoplasma of genen in het DNA aan- of uitzetten.
- Signaalcascade (cascade): een signaal wordt in de cel via meerdere schakels doorgegeven.

LEERDOEL 3 ►► BASISSTOF 2

Je kunt de werking van hormoonklieren en hun hormonen beschrijven en afleiden hoe doelwitorganen daarop reageren.

- De hypothalamus controleert veel homeostatische regelmechanismen en bestuurt het hormoonstelsel doordat neuronen neurohormonen produceren en afgeven (neurosecretie).
- De hypofyse produceert o.a. hormonen die de werking van andere hormoonklieren beïnvloeden.
- De hypofyseachterkwab geeft neurohormonen (ADH, oxytocine) af die worden geproduceerd door neuronen in de hypothalamus.
 - Oxytocine: stimuleert het ontstaan van weeën aan het einde van de zwangerschap en tijdens de geboorte.
 - ADH: regelt de resorptie van water in de nieren bij de vorming van urine.
- De hypofysevoorkwab:
 - De secretie van hormonen door de hypofyse staat onder invloed van releasing hormonen en inhibiting hormonen die door de hypothalamus worden afgegeven.
 - Groeihormoon: regelt de groei en ontwikkeling.
 - Prolactine: stimuleert de productie van melk door melkklieren in de borsten.
 - Thyreoïdstimulerend hormoon (TSH): reguleert de schildklier.
 - FSH en LH reguleren processen in de ovaria en de testes.
 - Adrenocorticotroop hormoon (ACTH): stimuleert de bijnierschors tot de afgifte van cortisol.
- De schildklier produceert thyroxine.
 - Thyroxine stimuleert de stofwisseling en de groei en ontwikkeling bij kinderen.
 - TRF (uit de hypothalamus) stimuleert de vorming en afgifte van TSH door de hypofysevoorkwab.
 - TSH stimuleert de vorming van schildklierweefsel, de opname van jodium door de schildkliercellen en de productie van thyroxine.
 - Thyroxine remt de productie van TRF en TSH (negatieve terugkoppeling).

- Spijsverteringshormonen worden geproduceerd door endocriene cellen in de alvleesklier en maag- en darmwand.
- Eilandjes van Langerhans in de alvleesklier produceren insuline en glucagon.
 - Insuline versnelt het transport van glucose door celmembranen en stimuleert dat glucose in lever en spieren wordt omgezet in glycogeen, waardoor de glucoseconcentratie in het bloed wordt verlaagd.
 - Glucagon stimuleert de omzetting van glycogeen in lever en spieren in glucose, waardoor de glucoseconcentratie in het bloed wordt verhoogd.
- De nieren produceren epo (erytropoëetine) dat de productie van rode bloedcellen in het rode beenmerg stimuleert.
- Het bijniermerg produceert bij stressvolle situaties adrenaline dat een snelle, kortdurende werking heeft.
 - Adrenaline bevordert de stofwisseling, de omzetting van glycogeen in glucose en de afgifte van glucose aan het bloed en zorgt ervoor dat het lichaam in staat is snel te handelen in stresssituaties.
- De bijnierschors produceert o.a. cortisol onder invloed van ACTH.
 - Cortisol onderdrukt de activiteit van het afweersysteem en verhoogt de glucoseconcentratie in het bloed.

LEERDOEL 4 ►► BASISSTOF 3

Je kunt de bouw en signaalverwerking van de verschillende typen neuronen beschrijven.

- Een neuron bestaat uit een cellichaam met een kern en bevat cytoplasma met ribosomen en endoplasmatisch reticulum.
- Uitlopers:
 - dendrieten: uitlopers die impulsen naar het cellichaam toe geleiden;
 - axonen (neurieten): uitlopers die impulsen van het cellichaam af geleiden;
 - myelineschede: isolerende laag om veel axonen die wordt gevormd door cellen van Schwann. Tussen de cellen bevinden zich insnoeringen.
 - cell junction: de verbinding tussen cellen in meercellige organismen.
- Communicatie met neurotransmitters:
 - Een axon geeft neurotransmitters af in de synaptische spleet tussen een neuron en een doelwitcel.
 - De neurotransmitters binden aan receptoren in het membraan van de doelwitcel.
 - Communicatie via impulsen en neurotransmitters is snel.

- Sensorische neuronen (gevoelszenuwcellen):
 - Geleiden impulsen van zintuigcellen (receptoren) naar het centrale zenuwstelsel.
 - De cellichamen liggen meestal vlak bij het centrale zenuwstelsel in spinale ganglia (ruggenmergs-zenuwknopen) en hebben één lange dendriet.
- Motorische neuronen (bewegingszenuwcellen):
 - Geleiden impulsen van het centrale zenuwstelsel naar effectoren (spieren of klieren).
 - De cellichamen liggen in het centrale zenuwstelsel en hebben één lang axon.
- Schakelneuronen:
 - Geleiden impulsen binnen het centrale zenuwstelsel.
 - Liggen geheel binnen het centrale zenuwstelsel (in ruggenmerg, hersenstam, grote hersenen en kleine hersenen).

LEERDOEL 5 ►► BASISSTOF 3

Je kunt de bouw, functies en werking van het zenuwstelsel beschrijven.

- Indeling zenuwstelsel op grond van de bouw:
 - het centrale zenuwstelsel: grote hersenen, kleine hersenen, hersenstam en ruggenmerg;
 - het perifere zenuwstelsel: zenuwen.
- Indeling zenuwstelsel op grond van de functie:
 - het animale zenuwstelsel: regelt vooral de bewuste reacties en de onbewuste reacties (reflexen);
 - het autonome (vegetatieve) zenuwstelsel: regelt vooral de werking van inwendige organen.
- Werking van het zenuwstelsel:
 - Zintuigcellen (receptoren) vangen prikkels op en zetten deze om in impulsen.
 - Prikkel: een invloed uit het milieu op een organisme.
 - Neuronen (conductoren) geleiden impulsen naar het centrale zenuwstelsel, verwerken deze in het centrale zenuwstelsel en geleiden impulsen vanaf het centrale zenuwstelsel.
 - Spieren of klieren (effectoren) reageren op impulsen afkomstig van het centrale zenuwstelsel.
 - Gliacellen in zenuwweefsel hebben een ondersteunende functie.
- Zenuw: een bundel uitlopers van neuronen, omgeven door een laag bindweefsel.
 - Zenuwen verbinden het centrale zenuwstelsel met alle lichaamsdelen.
 - Drie typen zenuwen: gevoelszenuwen, bewegingszenuwen, gemengde zenuwen.

- Grote hersenen:
 - Functie: het verwerken van impulsen.
 - In de schors (grijze stof) liggen de cellichamen van schakelcellen.
 - In het merg (witte stof) liggen de uitlopers.
 - Hersencentra: de plaats waar impulsen aankomen en worden verwerkt en waar impulsen kunnen ontstaan.
 - Primair gevoelscentrum: hier komen impulsen binnen en worden ze verwerkt (bewustwording).
 - Secundair gevoelscentrum: hier wordt het verband gelegd tussen de waarneming en eerdere waarnemingen (interpreteren en begrijpen).
 - Primair bewegingscentrum: hier ontstaan impulsen die naar spieren of klieren worden geleid.
 - Secundair bewegingscentrum: hier worden impulsen afkomstig uit primaire bewegingscentra op elkaar afgestemd.
- Kleine hersenen:
 - Functie: het coördineren van bewegingen.
- Hersenstam, bestaat uit o.a. verlengde merg en hypothalamus.
 - Functie: o.a. geleiden van impulsen: van het ruggenmerg naar de grote en kleine hersenen en omgekeerd; via zenuwen in hoofd en hals naar de grote en kleine hersenen en omgekeerd; impulsen in reflexbogen van hoofd en hals.
 - In het verlengde merg bevinden zich centra die activiteiten van het autonome zenuwstelsel controleren en sturen.
- Ruggenmerg:
 - Functies: geleiden van impulsen van zenuwen in de romp en de ledematen naar de hersenen en omgekeerd en geleiden van impulsen in reflexbogen in romp en ledematen.

LEERDOEL 6 ►► BASISSTOF 4

Je kunt de functie van reflexen en een reflexboog beschrijven.

- Reflex: een vaste, snelle, onbewuste reactie op een bepaalde prikkel.
 - Functies: beschermen van het lichaam, voor de handhaving van bepaalde lichaamshoudingen en bij bewegingen.
- Reflexboog: de weg die impulsen bij een reflex afleggen: zintuigcellen → sensorisch neuron → schakelneuron in ruggenmerg of hersenstam geeft exciterende of inhiberende neurotransmitters af → motorisch neuron → wel of geen impuls naar spier of klier.
 - De grote hersenen maken geen deel uit van de reflexbogen; toch komen bij veel reflexen ook impulsen in de grote hersenen aan.

LEERDOEL 7 ►► BASISSTOF 4

Je kunt de werking van het autonome (of vegetatieve) zenuwstelsel beschrijven.

- Het autonome zenuwstelsel staat niet onder invloed van de wil en werkt nauw samen met het hormoonstelsel.
- Het orthosympatische deel:
 - Beïnvloedt organen zodanig dat het lichaam activiteiten kan verrichten: de verbranding wordt bevorderd.
 - Effecten: o.a. verhoging van de hartslag- en ademfrequentie en vertraging van de vertering.
- Het parasympatische deel:
 - Beïnvloedt organen zodanig dat het lichaam in een toestand van rust en herstel kan komen. De stofwisseling wordt bevorderd.
 - Effecten: o.a. verlaging van de hartslag- en ademfrequentie en versnelling van de vertering.
- Innervatie: alle organen zijn verbonden met zenuwen waardoor ze worden voorzien van impulsen.
 - Dubbele innervatie: naar elk doelwitorgaan gaat een orthosympatische en een parasympatische zenuw.

LEERDOEL 8 ►► BASISSTOF 5

Je kunt beschrijven hoe impulsgeleiding plaatsvindt.

- Bij een neuron dat geen impuls geleidt, staat er een spanning van -70 mV over de membraan: de rustpotentiaal.
 - De rustpotentiaal wordt gehandhaafd door diffusie van ionen door ionkanalen in het celmembraan.
 - Natrium-kaliumpompen: transporteren natriumionen de cel uit en kaliumionen de cel in. Dit transport kost veel ATP.
- Depolarisatie: door binding van neurotransmitter of door prikkeling wordt de membraanpotentiaal minder negatief.
- Actiepotentiaal: de binnenkant van het celmembraan krijgt gedurende korte tijd een positieve lading ten opzichte van de buitenkant.
 - bewaakte Na⁺-kanalen openen bij -50 mV en grote hoeveelheden Na⁺-ionen stromen de cel in.
- Repolarisatie: na de depolarisatie sluiten de bewaakte Na⁺-kanalen en openen de bewaakte K⁺-kanalen. K⁺-ionen stromen de cel uit.
- Hyperpolarisatie: de membraanpotentiaal is tijdelijk lager dan -70 mV. De oorspronkelijke elektrische lading van het celmembraan wordt hersteld door de natrium-kaliumpomp.
- Refractaire periode: periode waarin er geen of minder makkelijk een actiepotentiaal kan ontstaan.
 - absolute refractaire periode: er kan geen nieuwe actiepotentiaal ontstaan vanaf het overschrijden van de drempelwaarde tot en met de repolarisatie.
 - relatieve refractaire periode: er kan alleen bij een extra grote prikkel een nieuwe actiepotentiaal ontstaan tijdens de hyperpolarisatie.
- Impulsgeleiding is het geleiden van impulsen langs het celmembraan van een axon.
 - Wanneer de membraanpotentiaal de drempelwaarde (de prikkeldrempel) bereikt, kan er volgens het 'alles-of-nietsprincipe' een impuls ontstaan.
 - De prikkeldrempel is de kleinste prikkelsterkte die een impuls veroorzaakt.
 - Bij prikkeling boven de prikkeldrempel ontstaat een impuls.
- Impulssterkte: de grootte van de verandering in spanning over het celmembraan.
 - De impulssterkte is voor alle neuronen gelijk.
- Impulsfrequentie: het aantal impulsen dat een neuron per tijdseenheid geleidt.
 - Hoe sterker de prikkeling van een zintuigcel, des te hoger de impulsfrequentie in het sensorische neuron dat erop is aangesloten.
 - Het celmembraan kan korte tijd geen impulsen geleiden.

- Saltatoire impulsgeleiding (sprongsgewijze impulsgeleiding): bij neuronuitlopers met een myelineschede 'springen' de impulsen van insnoering naar insnoering. Dit vergroot de impulsgeleidingssnelheid.

LEERDOEL 9 ►► BASISSTOF 5

Je kunt beschrijven hoe impulsoverdracht plaatsvindt.

- Impulsoverdracht vindt plaats in een synaps.
 - Synaptische spleet: ruimte tussen het membraan van het ene neuron en het postsynaptische membraan van het volgende neuron.
 - Het uiteinde van een axon bevat veel mitochondriën en blaasjes met neurotransmitter.
 - Wanneer een impuls aankomt bij het uiteinde van een axon, versmelten de blaasjes met het presynaptische membraan en komen de neurotransmitters vrij in de synaptische spleet.
 - De neurotransmitters binden aan receptoreiwitten in het postsynaptische membraan. Hierdoor openen er ionkanalen in het membraan en kunnen ionen de cel in of de cel uit stromen.
- Binding van de neurotransmitter kan direct of indirect (via second messenger) werken.
- Exciterende postsynaptische potentiaal (EPSP): een kleine depolarisatie van het postsynaptische membraan die ontstaat doordat neurotransmitters binden aan receptoreiwitten waardoor bewaakte Na⁺-kanalen en K⁺-kanalen opengaan.
- Inhiberende postsynaptische potentiaal (IPSP): een kleine hyperpolarisatie van het postsynaptische membraan die ontstaat doordat neurotransmitters binden aan receptoreiwitten waardoor er porie-eiwitten voor K⁺-ionen en/of Cl⁻-ionen opengaan, maar de porie-eiwitten voor Na⁺-ionen dicht blijven.
- Summatie: als uit meerdere axonuiteinden tegelijk of kort na elkaar neurotransmitter vrijkomt, ontstaan depolarisaties die bij elkaar opgeteld samen de drempelwaarde kunnen overschrijden waardoor een actiepotentiaal kan ontstaan.
 - EPSP's en IPSP's die in een korte tijd een motorisch neuron bereiken, worden opgeteld.
 - IPSP's kunnen het effect van EPSP's neutraliseren.
- Bepaalde stoffen (o.a. geneesmiddelen en drugs) kunnen de impulsoverdracht beïnvloeden of imiteren.

LEERDOEL 10 ►► BASISSTOF 6**Je kunt de bouw en werking van spieren beschrijven.**

- Typen spierweefsel: glad spierweefsel, dwarsgestreept spierweefsel en hartspierweefsel.
- Bouw van een skeletspier:
 - Een skeletspier bestaat uit spierbundels, die op hun beurt bestaan uit spiervezels.
 - Motorisch eindplaatje: het uiteinde van een vertakt axon van een motorisch neuron.
- Contractie van een skeletspier:
 - Motorische eindplaatjes geven de neurotransmitter acetylcholine af waardoor impulsen van een motorisch neuron worden overgedragen op spiervezels.
 - Ca^{2+} -ionen diffunderen de myofibrillen in en binden aan bepaalde eiwitten op de actinefilamenten. De myosinemoleculen strekken en binden aan de vrijgekomen bindingsplaatsen.
 - Bij het terugvallen in hun oorspronkelijke positie trekken de myosinemoleculen de actinefilamenten mee en verkorten de sarcomeren. Hierdoor worden de spiervezels korter.
- Bij de afbraak van glucose zonder zuurstof ontstaat melkzuur dat een daling van de pH in de spier veroorzaakt (verzuring).
- Spierspoeltjes geven informatie door over de uitrekking van een spiervezel aan het centrale zenuwstelsel. Peeslichaampjes (peespoeltjes) reageren op de spierspanning.
- Antagonisten: spieren waarvan het samentrekken een tegengesteld effect heeft.

LEERDOEL 11 ►► BASISSTOF 6**Je kunt de effecten van training en dopinggebruik uitleggen.**

- Door krachttraining krijgen de spieren meer spiercellen en neemt het aantal filamenten in de myofibrillen toe waardoor de spieren zwaarder worden en de skeletspieren betere prestaties leveren.
- Door duurtraining neemt vooral de doorbloeding van de spieren toe en wordt het uithoudingsvermogen groter.
- Een warming-up is een rustig begin van de training die steeds intensiever wordt waardoor je de bloedsomloop, stofwisselingsprocessen en impulsgeleiding stimuleert.
- Een cooling-down bestaat uit activiteiten die ervoor zorgen dat het lichaam na het sporten weer tot rust komt en goed kan herstellen en die de afvoer van afvalstoffen uit de spieren bevordert.

- Doping: verboden middelen of methoden die bij sport soms worden gebruikt om prestaties te verhogen.
 - Anabole steroïden zijn middelen die het lichaam van een sporter ertoe aanzetten meer spierweefsel te vormen zodat de spiermassa toeneemt en de sportprestaties verbeteren.

LEERDOEL 12 ►► BASISSTOF 6**Je kunt de uitvoering van een onderzoek en de conclusies evalueren.**

- Met een statistische toets wordt aangetoond in hoeverre het verschil tussen de onderzochte groepen berust op toeval (de p -waarde).
- Goed onderzoek is betrouwbaar.
 - Toevallige fouten: onder verschillende omstandigheden worden verschillende resultaten behaald.
 - Onderzoek zonder toevallige fouten levert bij herhaling (zo veel mogelijk) dezelfde resultaten op.
- Goed onderzoek is valide.
 - Systematische fout: er wordt steeds dezelfde fout gemaakt, waardoor men niet meet wat men wilde meten.
 - Valide onderzoek bevat zo min mogelijk systematische fouten.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken, beoordelen, selecteren en verwerken van informatie;
- uitvoeren en presenteren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- verzamelen, bewerken en overzichtelijk weergeven van data;
- geven van een beargumenteerde mening;
- gebruiken van biologische en ethische argumenten;
- evalueren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- verklaren van neurale regulatie op het niveau van organismen met behulp van evolutiemechanismen (evolutionair denken);
- met elkaar in verband brengen van hormonale en neurale regulatie op de niveaus van moleculen, cellen, weefsels, organen en organismen (systeemdenken).

Examentrainer

PIJNBESTRIJDING TIJDENS BEVALLING

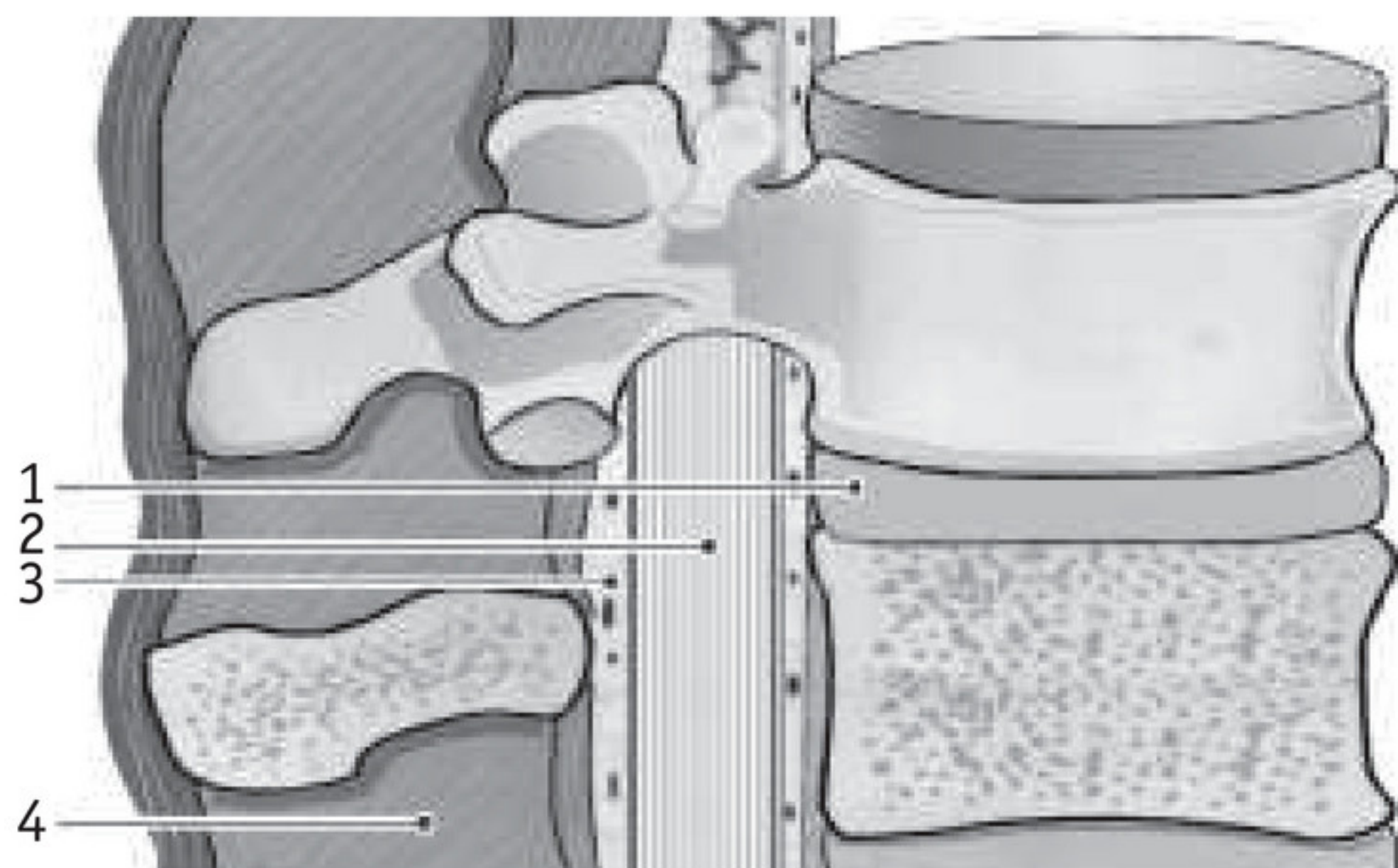
Naar: examen vwo 2015-1, vragen 24, 25, 26 en 28.

Zwangere vrouwen kunnen in Nederland kiezen tussen een bevalling thuis of in het ziekenhuis. In de regel wordt in Nederlandse ziekenhuizen bij pijnbestrijding tijdens de bevalling gekozen voor epidurale anesthesie (de ruggenprik). Dit is een vorm van plaatselijke verdoving waarbij anesthetica – stoffen die tijdelijke gevoelloosheid voor pijnprikkels veroorzaken – in de epidurale ruimte, die het ruggenmerg omgeeft, worden ingebracht (zie afbeelding 1).

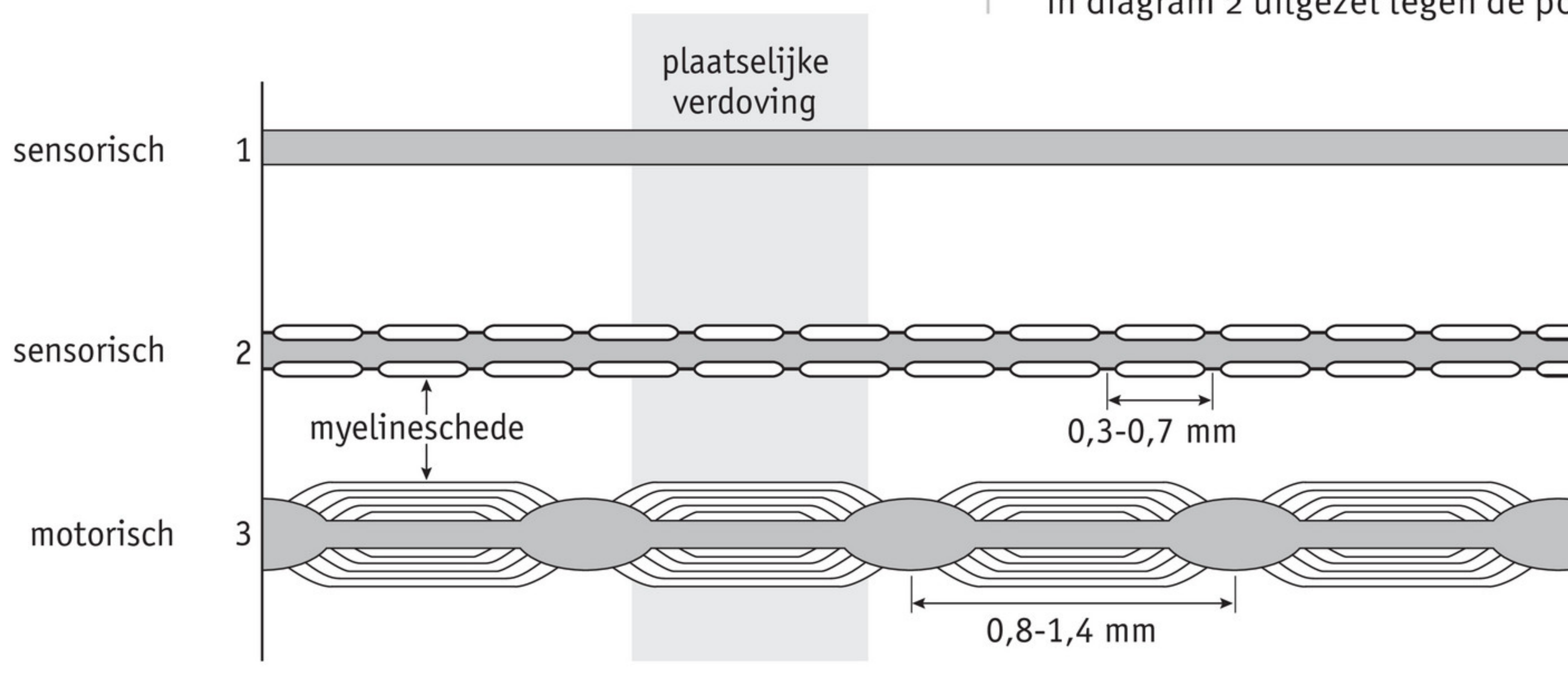
In afbeelding 1 is in de uitvergroting schematisch het ruggenmerg en de directe omgeving weergegeven.

- 2p 1 Met welk nummer is de positie van de naaldpunt bij epidurale anesthesie juist aangegeven?
- A met nummer 1
 - B met nummer 2
 - C met nummer 3
 - D met nummer 4

▼ **Afb. 1** Het ruggenmerg.



▼ **Afb. 2** Uitlopers van verschillende neuronen.



De anesthetica die bij plaatselijke verdoving worden gebruikt, zorgen voor de blokkade van Na^+ -kanalen in het celmembraan.

- 2p 2 Welk proces in de neuronen wordt hierdoor als eerste voorkomen?
- A depolarisatie
 - B hyperpolarisatie
 - C in stand houden van de rustpotentialiaal
 - D repolarisatie

De inwerking van plaatselijke verdoving op uitlopers van drie verschillende typen neuronen is in afbeelding 2 schematisch weergegeven.

Artsen maken onderscheid tussen scherpe (snelle) en brandende (trage) pijn.

- 1p 3 Welk type neuronen in afbeelding 2 is betrokken bij de sensatie van scherpe pijn? Noteer het nummer en licht je keuze toe.

Een zwangere vrouw die een ruggenprik tijdens de bevalling overweegt, wordt geïnformeerd door haar verloskundige dat bij epidurale pijnbestrijding mogelijk extra oxytocine moet worden toegediend om de bevalling voorspoedig te laten verlopen.

- 1p 4 Wat is het beoogde effect van de toegediende oxytocine?

REGELING

Naar: examen vwo 2000-1, vragen 30 en 31.

Door prikkeling van een receptor, bijvoorbeeld een smaakzintuigcel, kan een potentiaalverandering ontstaan. De sterkte van de potentiaalverandering in een receptor is in diagram 1 in afbeelding 3 uitgezet tegen de prikkelsterkte. De maximaal toegediende prikkelsterkte wordt gesteld op 100%. De maximaal gemeten potentiaalverandering wordt ook op 100% gesteld.

De frequentie van de actiepotentialen die worden opgewekt door prikkeling van deze receptor (de impulsfrequentie), is in diagram 2 uitgezet tegen de potentiaalverandering.

▼ Afb. 3

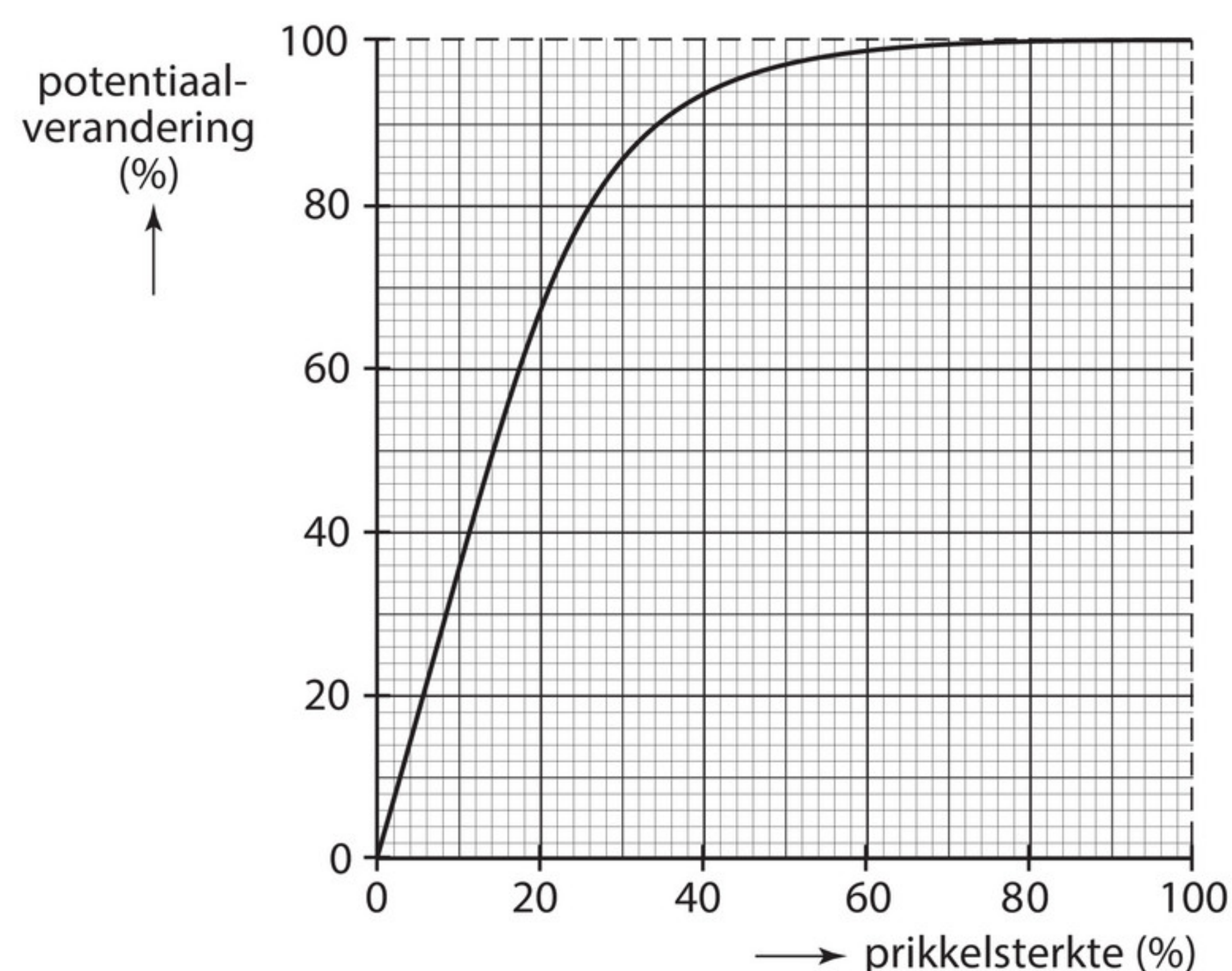


diagram 1

Bij een experiment wordt deze receptor achtereenvolgens geprikkeld met prikkels van verschillende prikkelsterkte (uitgedrukt in %):

situatie 1: een prikkel van 10% gevolgd door een prikkel van 20%,

situatie 2: een prikkel van 30% gevolgd door een prikkel van 40%,

situatie 3: een prikkel van 50% gevolgd door een prikkel van 60%,

situatie 4: een prikkel van 70% gevolgd door een prikkel van 80%.

Het verschil in impulsfrequentie wordt in deze situaties bepaald.

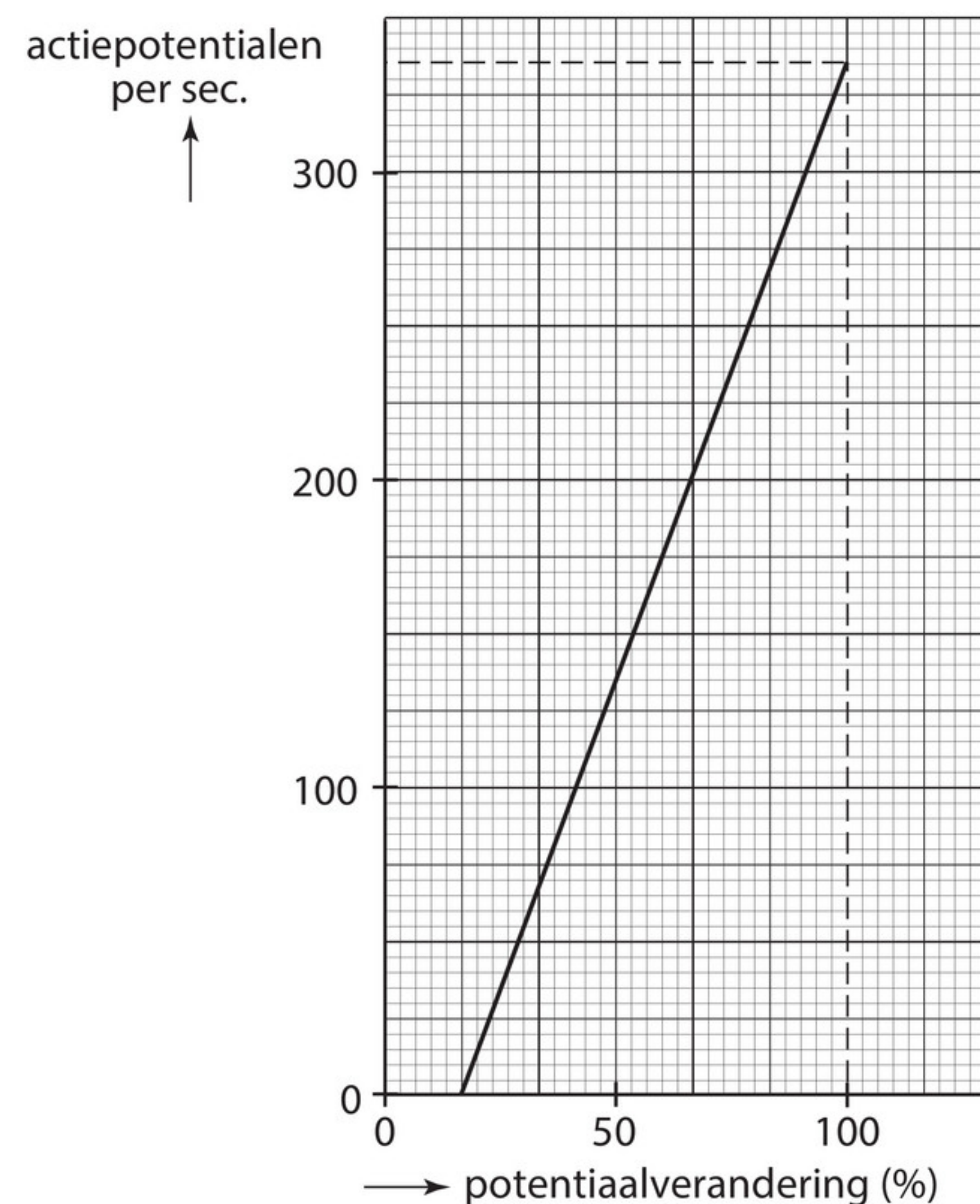


diagram 2

2p 5 In welke van deze situaties neemt de impulsfrequentie het meest toe?

- A in situatie 1
- B in situatie 2
- C in situatie 3
- D in situatie 4

Actiepotentialen worden voortgeleid in zenuwcellen.

In diagram 1 in afbeelding 4 is een actiepotentiaal weergegeven. In diagram 2 is de verandering van de membraanpermeabiliteit van een zenuwcel voor Na^+ - en K^+ -ionen weergegeven gedurende deze actiepotentiaal.

▼ Afb. 4

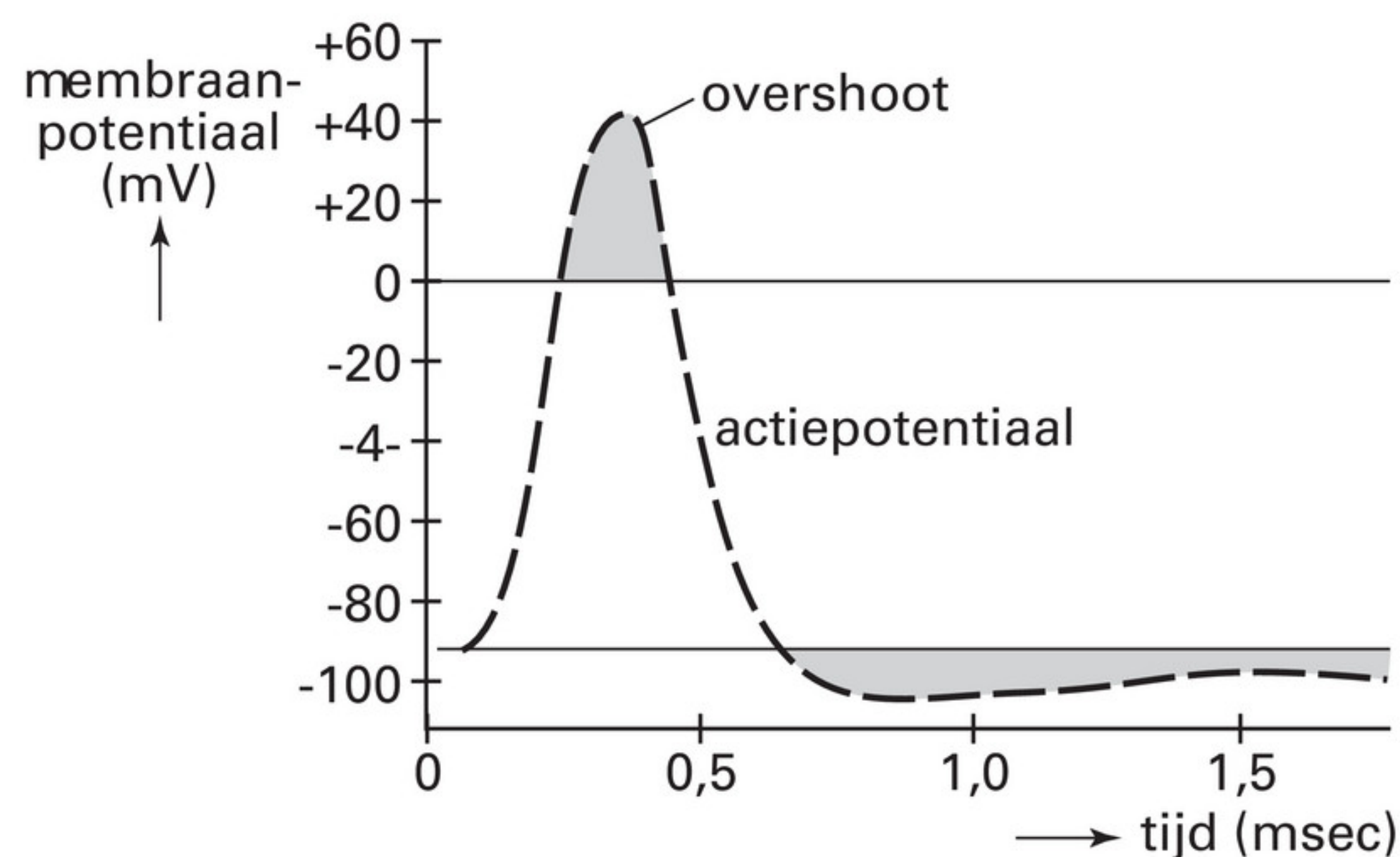


diagram 1

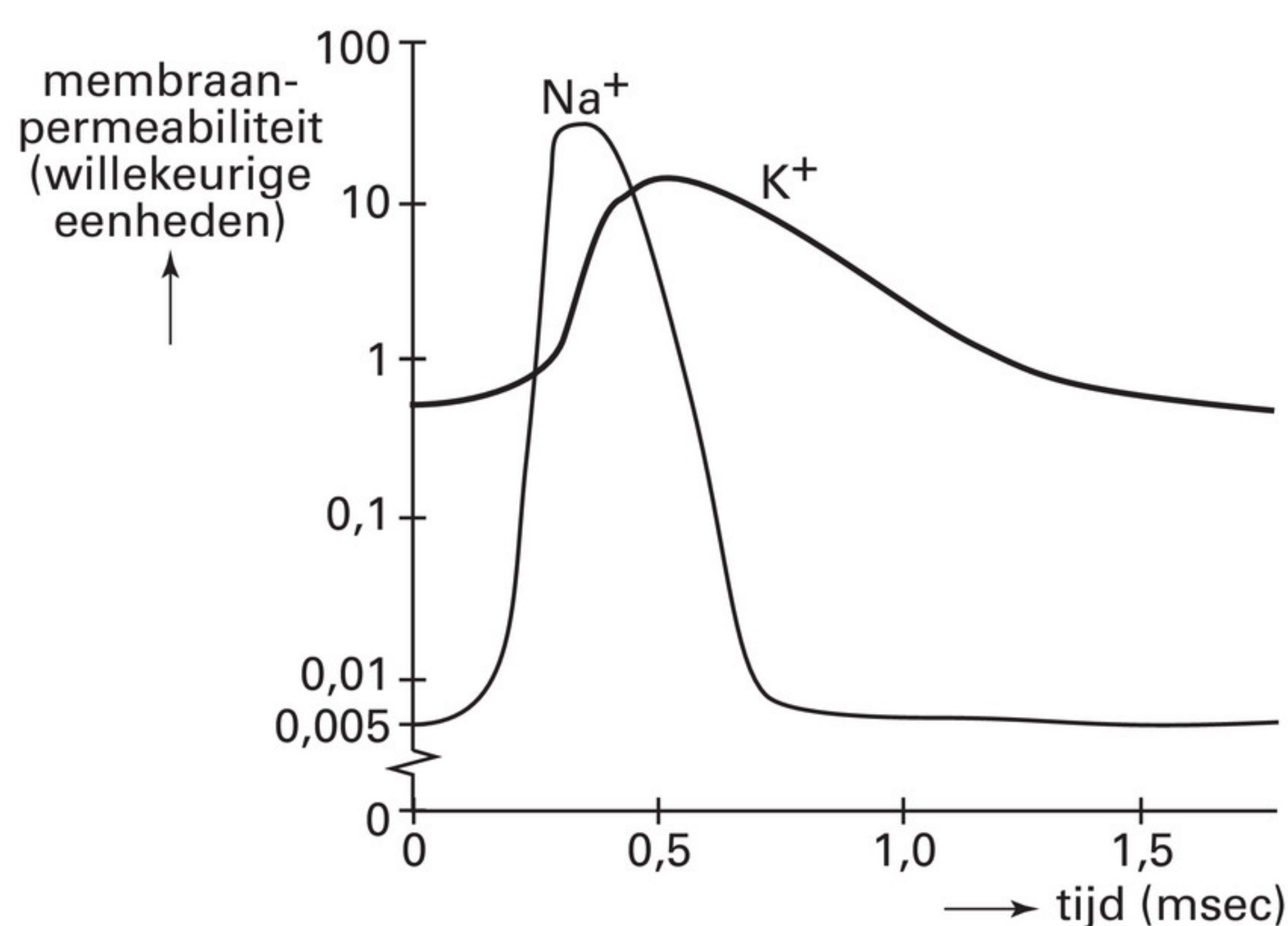
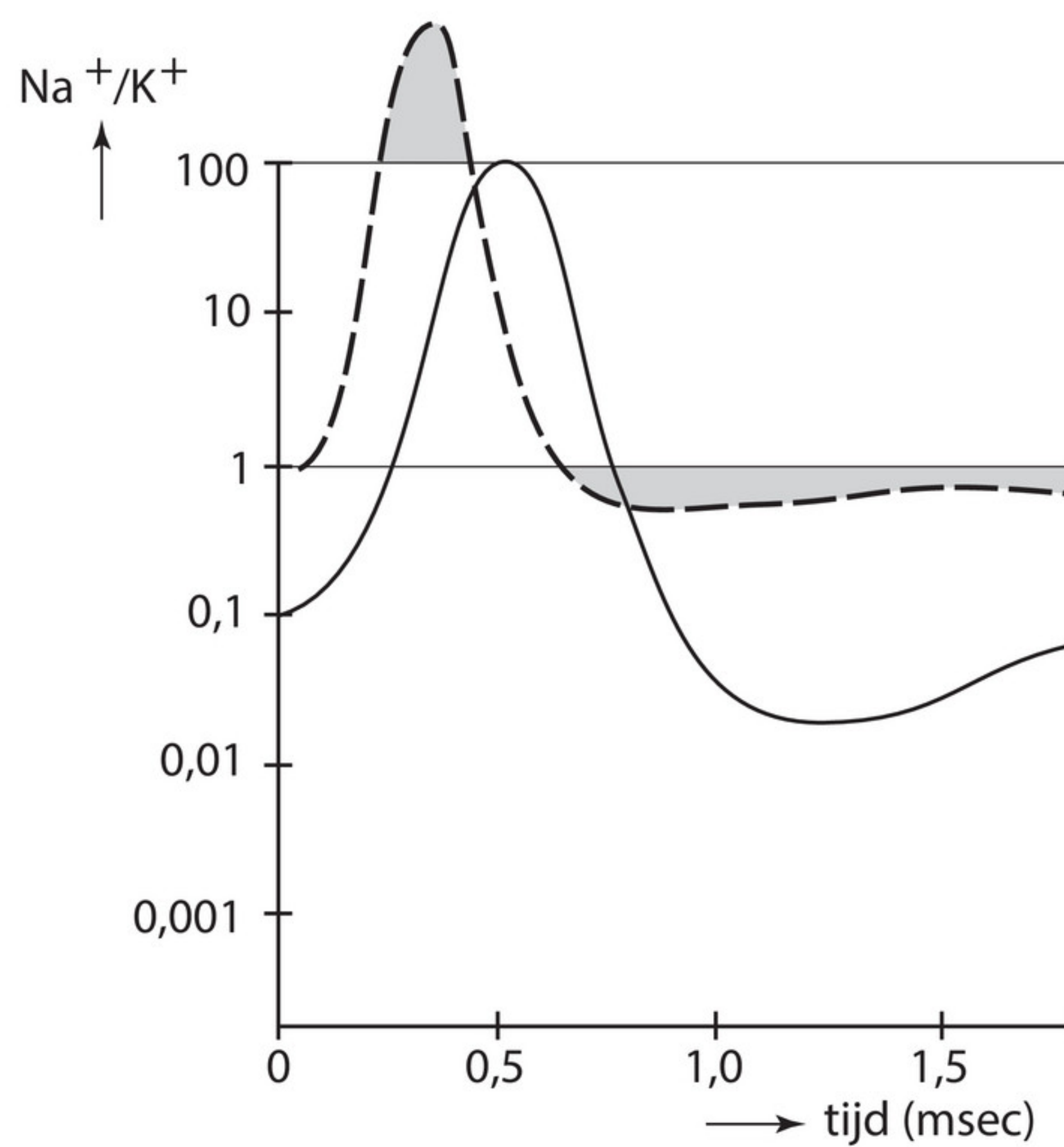


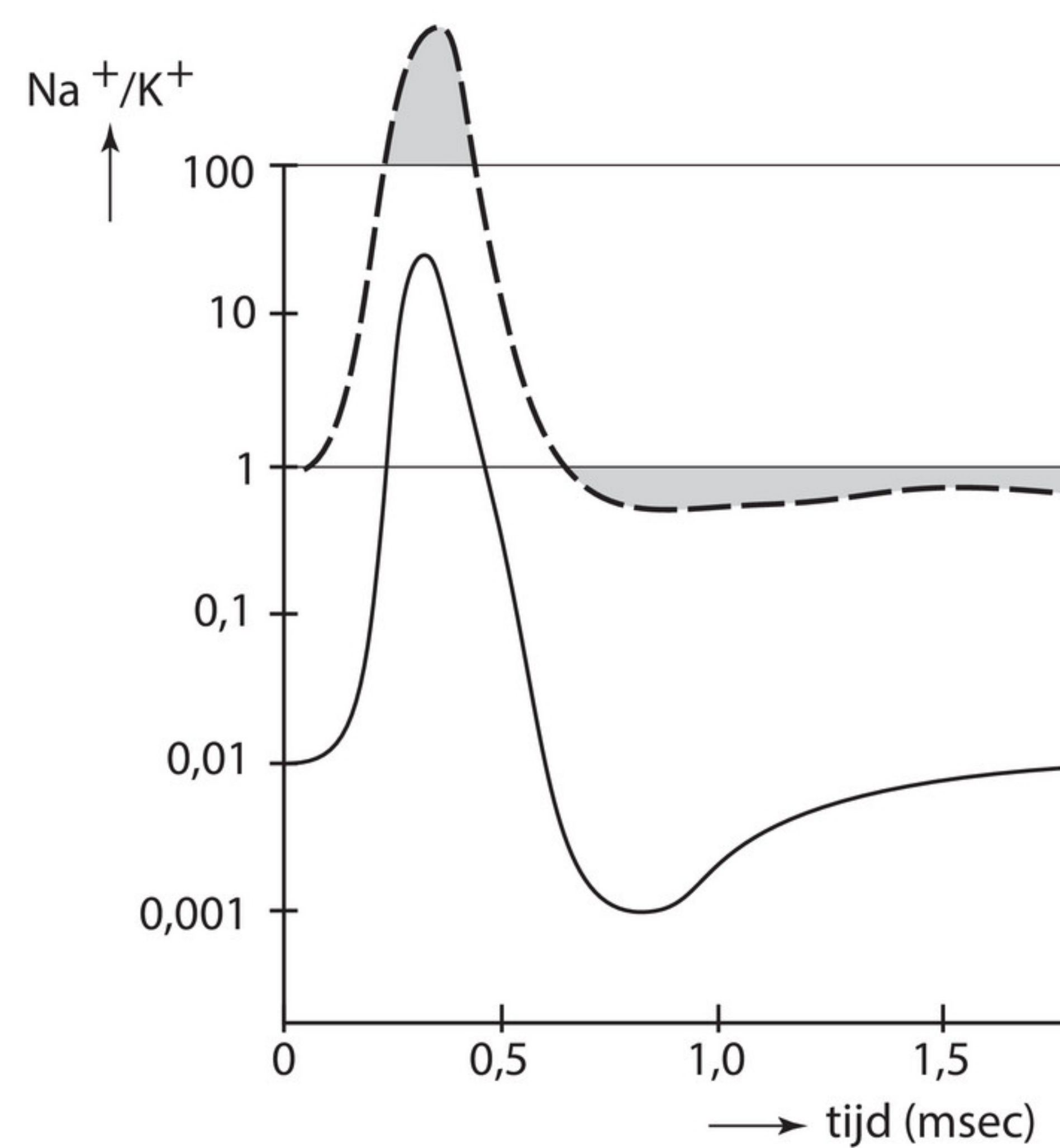
diagram 2

Met behulp van de gegevens in diagram 2 kan de verhouding worden berekend waarin de membraan doorlaatbaar is voor Na^+ en K^+ : de Na^+/K^+ -ratio van de membraanpermeabiliteit. Vier leerlingen maken deze berekening en tekenen in de figuur met de actiepotentiaal uit diagram 1 de Na^+/K^+ -ratio van de membraanpermeabiliteit. In afbeelding 5 zijn hun tekeningen weergegeven.

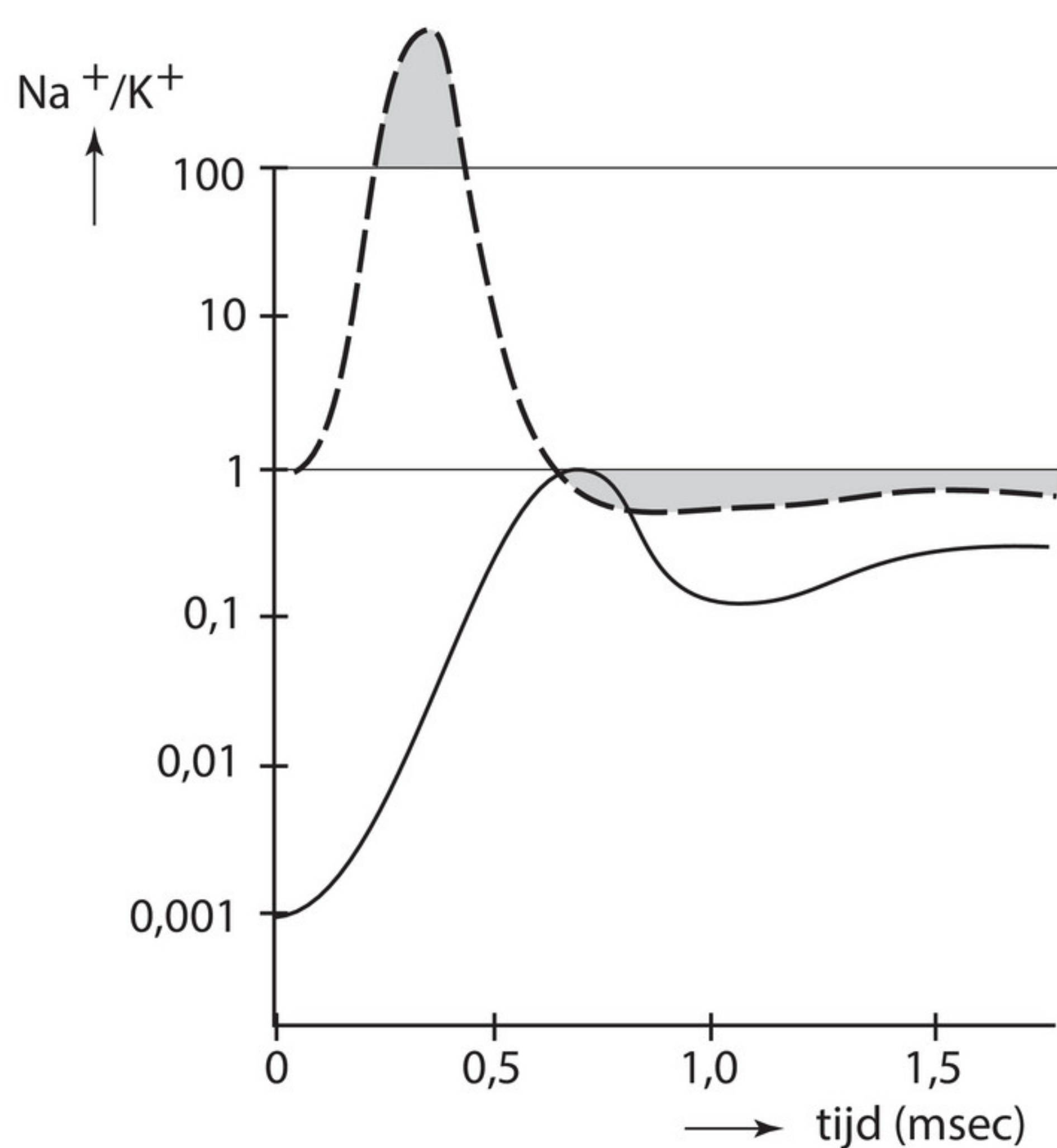
▼ Afb. 5



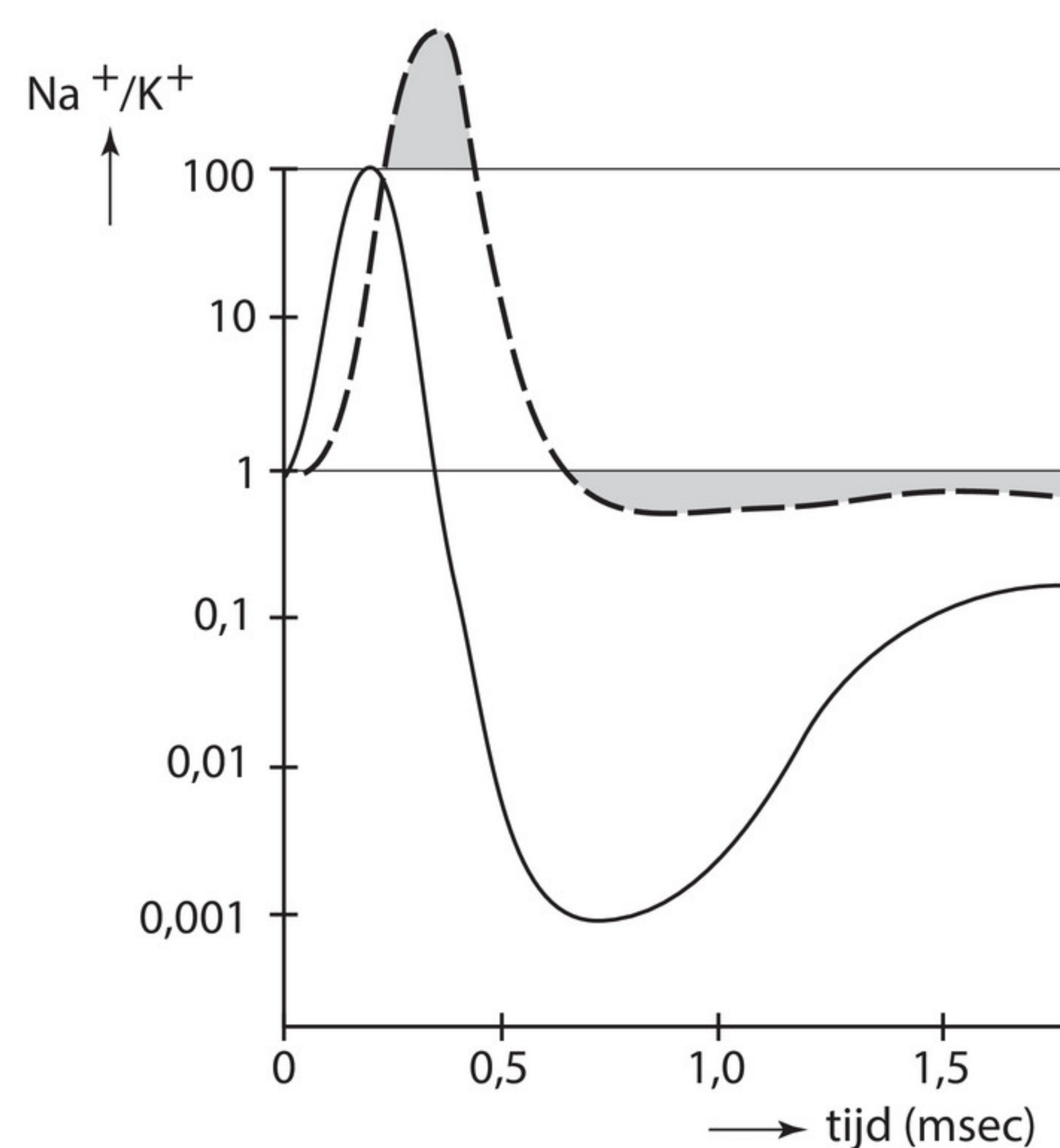
tekening 1



tekening 2



tekening 3



tekening 4

2p 6 Welke van deze tekeningen geeft de Na^+/K^+ -ratio juist weer?

- A tekening 1
- B tekening 2
- C tekening 3
- D tekening 4

2

Waarneming en gedrag

Dieren en mensen passen zich voortdurend aan hun omgeving aan. Goede informatie is daarvoor van levensbelang. Door zintuigen zoals het oog komt veel informatie via zenuwen bij de hersenen. Het centrale zenuwstelsel gebruikt deze informatie voor bewuste en onbewuste reacties die leiden tot succesvol gedrag. Hoe reageer jij op je omgeving en welk gedrag vertoon jij?

ONTDEKKEN

Bij zoekt bom	80
---------------	----

BASISSTOF

1 Het zintuigstelsel	82
2 Het oog	86
3 Gedrag beschrijven	99
4 Vorming van gedrag	106
5 Aangepast gedrag	114
6 Sociaal gedrag	122
7 Gedrag bij mensen	128

SAMENHANG

Prairiewoelmuizen zoeken troost	132
---------------------------------	-----

VERRIJKINGSSTOFFEN

Practica pissebedden	
Anorexia en boulimia	
Ideeën voor onderzoek	

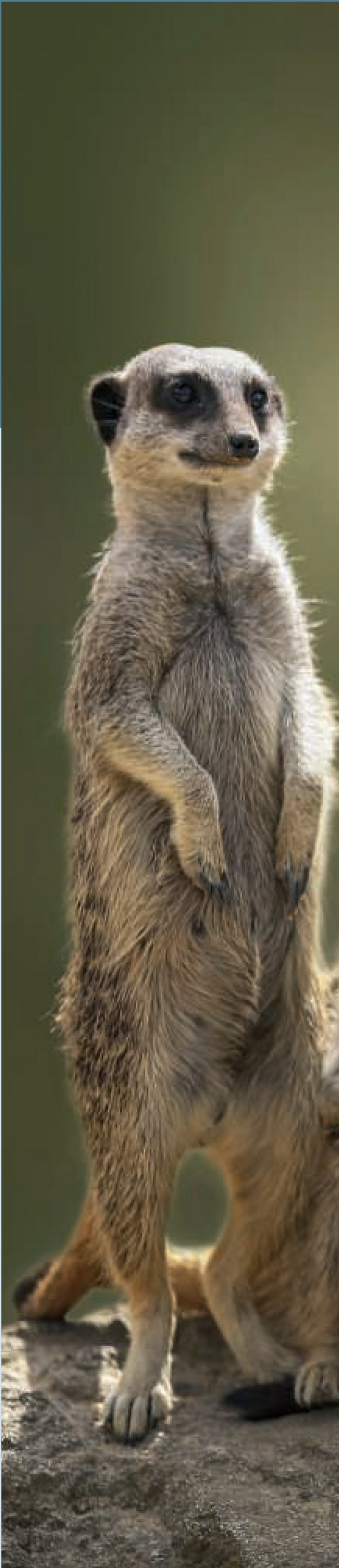
PRACTICA

134

AFSLUITING

Samenvatting	138
Flitskaarten	
Test Jezelf	

Examentrainer	142
---------------	-----







Bij zoekt bom

►► BASISSTOF 5 EN 6

De komst van explosieven heeft de mensheid veel goeds gebracht. Waar onze voorouders duizenden jaren geleden nog met de hand tunnels groeven, kunnen wij in een fractie van een seconde tonnen steen verplaatsen met behulp van dynamiet. Maar de krachtige werking van explosieven kan ook voor minder nobele doelen worden gebruikt.

Helaas kunnen we ons allemaal wel een terroristische aanslag herinneren waarbij explosieven zijn gebruikt. Waarom zijn gebouwen, zoals luchthavens en openbare gebouwen zo moeilijk hiertegen te beveiligen? Het is niet gemakkelijk om explosieven op te sporen; vaak kan dat niet met een simpele metaaldetector.

Wetenschappers brengen nu een onverwacht nieuw wapen tegen kwaadwillende gebruikers van explosieven in de strijd: de honingbij. Met zijn buitengewone reuk kan dit insect tot twee deeltjes op de biljoen detecteren. Dat is vergelijkbaar met het vinden van een zandkorrel in een zwembad! Met deze eigenschap is de honingbij uitermate geschikt om explosieven in vrachtcontainers te vinden, in voertuigen die de grens passeren en op vliegvelden waar alles draait om veiligheid.

‘Met zijn buitengewone reuk kan de honingbij tot twee deeltjes op de biljoen detecteren.’

De honingbij heeft voor deze taak een aantal grote voordelen ten opzichte van honden. Bijen leren sneller, zijn goedkoper om te houden en ze hebben minder verzorging nodig. Ook planten bijen zich een stuk sneller voort dan honden. De eerste proeven met de insecten zijn al gedaan. Na een training van enkele uren worden bijen in een soort cartridge ondergebracht die in een kistje is gemonteerd.

Vervolgens wordt het kistje langs verdachte voorwerpen of personen gehaald. Een camera in het kistje houdt in de gaten of de bijen explosieven ruiken. In dat geval is er direct een reactie te zien: de bijen steken hun tong uit, wat de camera registreert. Na twee dagen werken krijgen de bijen hun vrijheid weer terug.

Toch zijn er nog de nodige hindernissen te overwinnen. Het is belangrijk dat de bijen geen stress ondervinden; dat zou hun reactie op de geur van explosieven kunnen verstoren. En hoewel bijen niet gemakkelijk van hun doel zijn af te leiden, is 100% taakgerichtheid onmogelijk. Wat te denken van een explosievensmokkelaar met een pot honing in zijn tas ...?

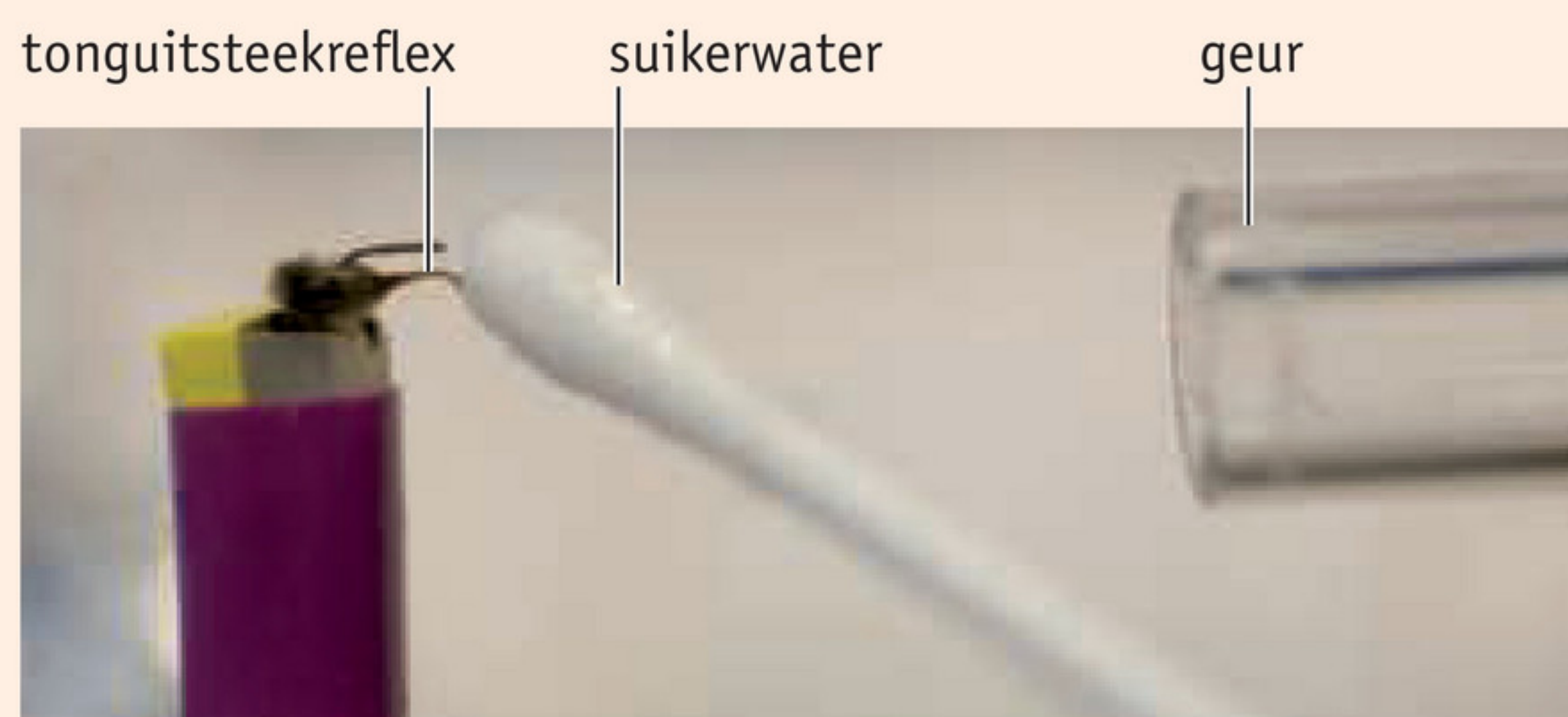
▼ **Afb. 1** Honingbijen.



opdrachten

Jij bent een van de laboratoriummedewerkers bij het Los Alamos National Laboratory Stealthy Insect Sensor Project Team. Met succes heb je al honderden bijen getraind waarbij je suikerwater hebt gebruikt als beloning. Een grote luchthaven wil bijen gaan gebruiken om explosieven op te sporen en de directie heeft je gevraagd om dit traject te begeleiden. Enkele medewerkers gaan de bijen zelf trainen en ze zijn dan ook erg benieuwd hoe de bijentraining eruit zal gaan zien.

▼ **Afb. 2** Trainen van honingbijen.



Bijen zijn sociale dieren en hebben door hun geslacht een duidelijke taak. Dat brengt ook een moeilijkheid met zich mee: trainers kunnen niet zomaar elke willekeurige bij uit het verblijf halen als ze bijen gaan trainen. Alleen bijen die gericht zijn op het zoeken van voedsel kunnen worden gebruikt. Er is oefening voor nodig om die bijen van de andere te onderscheiden. De medewerkers vragen zich af hoe de bijen op een zo natuurlijk mogelijke manier kunnen worden gehouden en wat de levensduur is van een bij. Er zijn nog wel enkele medewerkers die zich zorgen maken om gestoken te worden; ze willen graag weten of je bijensteken kunt vermijden.

- 1 Voor de eerste voorlichtingsbijeenkomst op de luchthaven bereid je een presentatie voor waarin je antwoord geeft op de vragen, de zorgen zo veel mogelijk wegneemt en ingaat op het gedrag van bijen. Maak hiervoor een presentatie en maak gebruik van de informatie uit basisstof 6.
- 2 Na de presentatie ga je in een bijeenkomst aan trainers van de luchthaven uitleggen hoe ze de bijen kunnen trainen. Ze krijgen hierin voldoende achtergrondinformatie om de training te wijzigen of op andere dieren toe te passen. Je kunt ervoor kiezen hiervoor een filmpje te maken of een stappenplan. Maak hierbij gebruik van de informatie uit basisstof 5 en bronnen op internet. In het filmpje of stappenplan maak je in elk geval duidelijk:
 - hoe bijen zo goed kunnen ruiken en welke zintuigen ze daarvoor gebruiken;
 - bij welke prikkels ongetrainde bijen hun tong uitsteken;
 - om welk type leerproces het gaat;
 - welke stappen een trainer doorloopt om een bij de tong te laten uitsteken bij het ruiken van explosieven.
 Gebruik hierbij afbeelding 2.

Leerdoelen

- Je kunt de werking van zintuigen beschrijven en de relatie van het zintuigstelsel met het zenuwstelsel beschrijven.

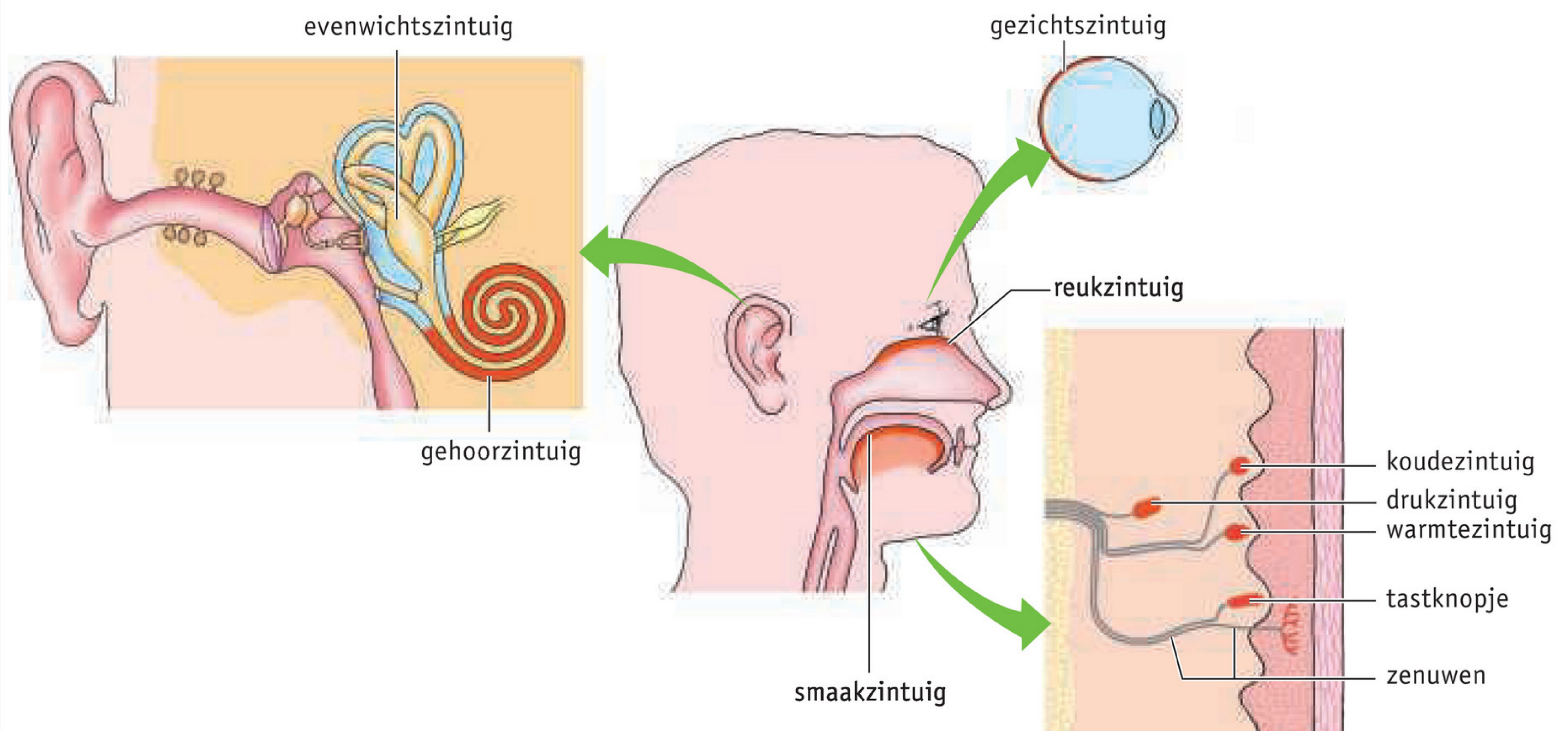
1 Het zintuigstelsel

Zintuigen zijn gevoelige meetinstrumenten die energie en stoffen in het interne en externe milieu kunnen waarnemen, bijvoorbeeld temperatuur, druk, licht en zelfs concentraties van opgeloste stoffen. Via impulsen gaat deze informatie razendsnel naar de hersenen.

INTERNE EN EXTERNE PRIKKELS

Het zintuigstelsel bestaat uit verschillende zintuigen. In afbeelding 1 is de ligging van enkele zintuigen weergegeven. In de met rood aangegeven gebieden liggen zintuigcellen (receptoren). Zintuigen, zoals het gehoorzintuig en het gezichtszintuig, ontvangen prikkels uit het externe milieu (**externe prikkels**). Zintuigen die prikkels ontvangen uit het inwendige milieu (**interne prikkels**) zoals osmoreceptoren en pH-receptoren, worden gebruikt bij homeostatische regelmechanismen. Osmoreceptoren in de hypothalamus bepalen de osmotische waarde van het bloedplasma en beïnvloeden daarmee de urineproductie.

▼ **Afb. 1** De ligging van enkele zintuigen (schematisch).



Er zijn ook zintuigen die een verandering van de spanning van een spier of een verandering in de stand van een lichaamsdeel registreren: de zogenoemde **proprioceptoren**. Voorbeelden hiervan zijn de spierspoeltjes in spieren, peesspoeltjes en de evenwichtszintuigen in de oren. Via impulsen en neuronen (conductoren) wordt de informatie van zintuigen doorgegeven aan het centrale zenuwstelsel. Dieren en mensen reageren voortdurend op prikkels met acties van effectoren, zoals spieren en klieren.

Afhankelijk van het type prikkel waar zintuigcellen op reageren, kun je verschillende groepen receptoren onderscheiden.

Mechanische receptoren reageren op uiteenlopende vormen van mechanische energie, zoals aanraking, druk, beweging en geluid. Er ontstaat een impuls

in een mechanische receptor wanneer het celmembraan buigt of uitrekt.

Gehoorreceptoren en **evenwichtsreceptoren** zijn mechanische receptoren met zeer fijne haartjes. Als de vloeistof waarin zij zich bevinden beweegt, buigen de haartjes en vervormt het celmembraan (zie afbeelding 2.1). Hierdoor ontstaat een impuls.

Tastreceptoren en **drukreceptoren** zijn mechanische receptoren waarin een impuls ontstaat als het celmembraan wordt vervormd door lichte aanraking of druk (zie afbeelding 2.2). Tastreceptoren liggen vlak onder de opperhuid. Drukreceptoren liggen dieper in de huid.

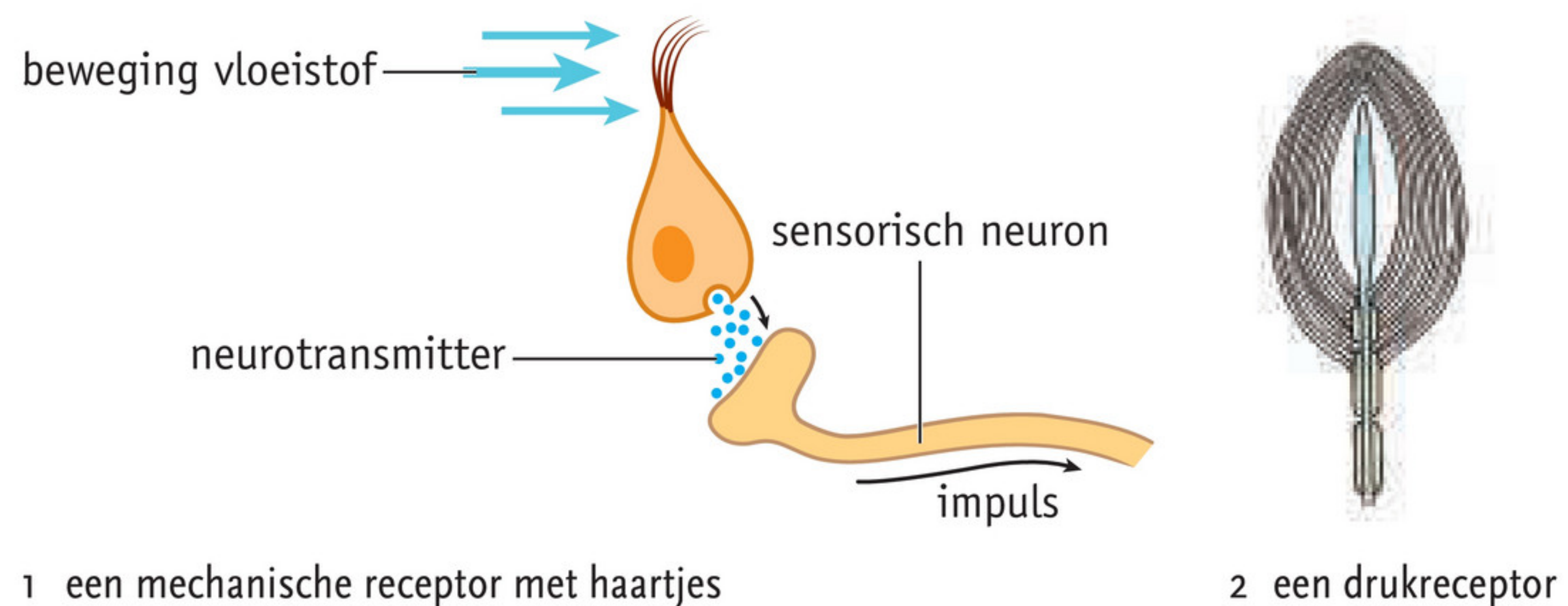
Chemische receptoren kunnen bepaalde moleculen uit de omgeving binden. Smaakreceptoren binden opgeloste moleculen en reukreceptoren binden moleculen uit de lucht. Hierdoor ontstaat een impuls in deze zintuigcellen.

Temperatuurreceptoren in de huid reageren op warmte en kou. Wanneer de temperatuur in zo'n receptor boven of onder een bepaalde normwaarde komt, ontstaat een impuls.

Pijnreceptoren bevinden zich in het hele lichaam en zijn de uiteinden van bepaalde neuronen. Er ontstaat een impuls in deze receptoren door extreme druk, door extreme temperaturen of door stoffen die vrijkomen bij beschadiging of ontsteking van weefsel.

Lichtreceptoren (fotoreceptoren) zijn zintuigcellen waarin een impuls ontstaat door zichtbaar licht.

► **Afb. 2** Mechanische receptoren.



HET ONTSTAAN VAN IMPULSEN IN ZINTUIGCELLEN

Zintuigcellen zijn gespecialiseerde neuronen (zie afbeelding 2.1) of uitlopers van neuronen (zie afbeelding 2.2). Net als in neuronen ontstaan in zintuigcellen impulsen als een prikkel sterker is dan de drempelwaarde. Je noemt deze drempelwaarde de **prikkeldrempel**. Elk type zintuigcel heeft voor elk soort prikkel een bepaalde prikkeldrempel. De prikkeldrempel van lichtreceptoren voor lichtprikkel is erg laag. Je noemt licht daarom de **adequate prikkel** voor lichtreceptoren. De prikkeldrempel van deze zintuigcellen is voor andere, niet-adequate prikkels veel hoger. Als je bijvoorbeeld licht op je ogen drukt, ontstaan er geen impulsen in de lichtreceptoren. Maar als je een klap op je ogen krijgt, ontstaan er wel impulsen en zie je 'sterretjes'.

Naarmate de prikkel sterker is, is de impulsfrequentie in het aangesloten sensorische neuron hoger. Wanneer een prikkel enige tijd aanhoudt, wordt de prikkeldrempel hoger en neemt de impulsfrequentie af. Hierdoor voel je bijvoorbeeld na enige tijd de druk van de kleren op je huid niet meer en is het zintuig minder gevoelig. De aanpassing van de gevoeligheid van een zintuig aan een aanhoudende prikkelsterkte heet **adaptatie** ofwel gewenning. Ook een verlaging van de prikkeldrempel noem je adaptatie. Zo wennen je gezichtszintuigcellen bijvoorbeeld na een periode aan de schemering. Adaptatie voorkomt dat het centrale zenuwstelsel overbelast raakt met onbelangrijke informatie. Daarnaast zorgt adaptatie ervoor dat het centrale zenuwstelsel voldoende informatie krijgt.

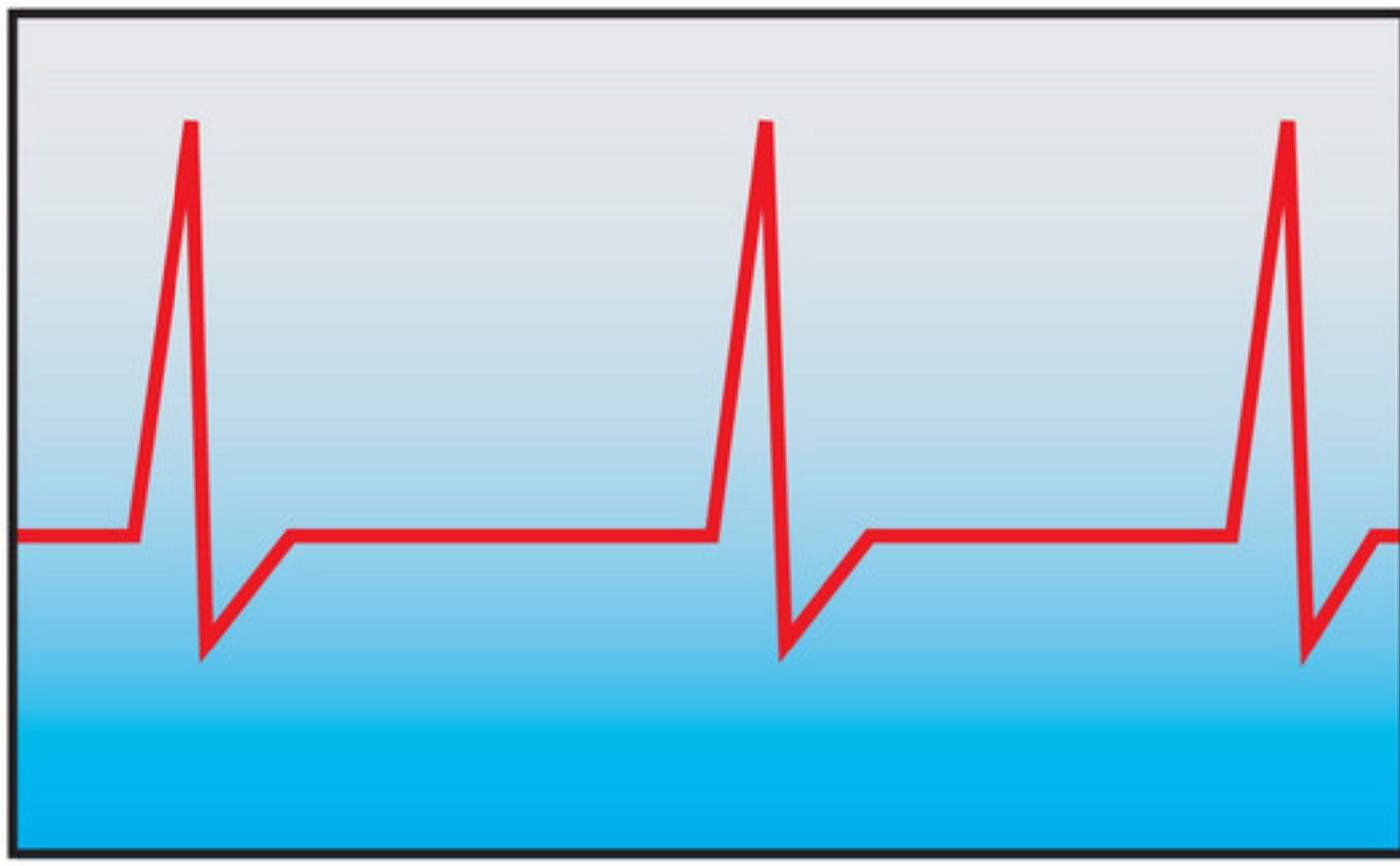
▼ **Afb. 3** Impulsfrequentie.

diagram 1

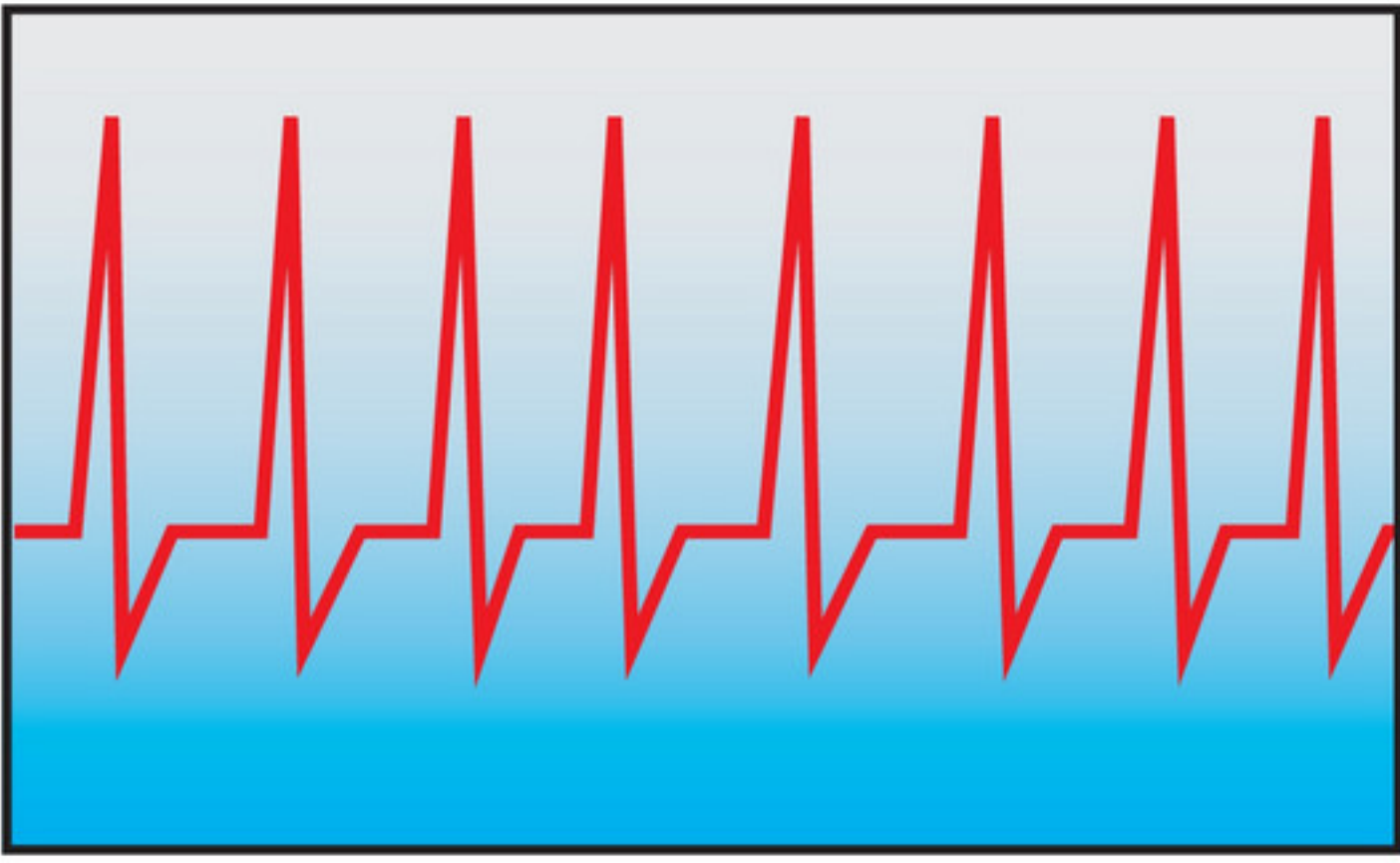
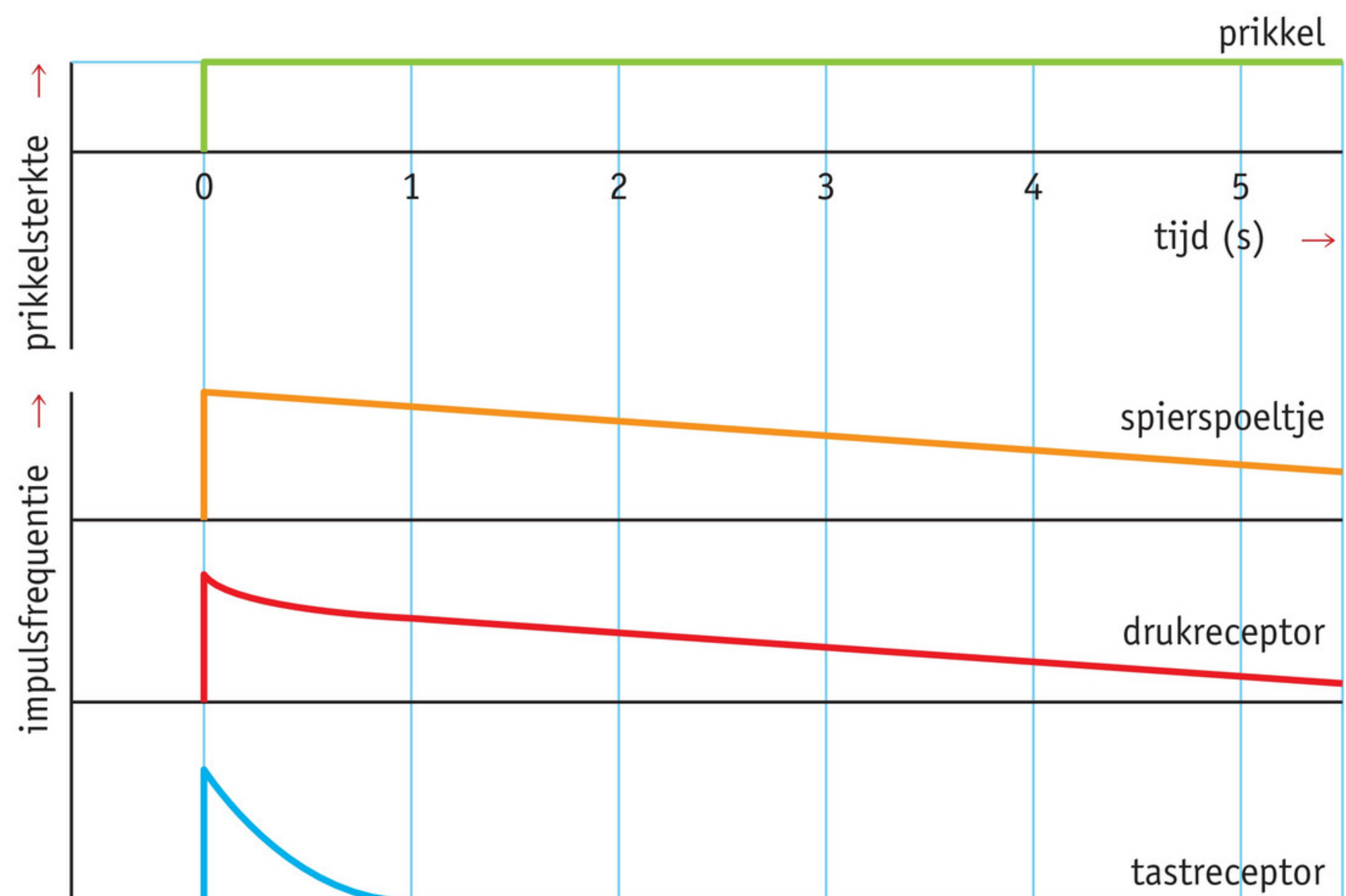


diagram 2

► **Afb. 4** Verband tussen de duur van een prikkel en de impulsfrequentie.

opdrachten

- 1 Maak een tabel met drie kolommen.
 - Noteer in de eerste kolom de receptoren die in de tekst zijn genoemd en in afbeelding 1 zijn afgebeeld.
 - Noteer in de tweede kolom achter elke receptor de ligging in het lichaam.
 - Noteer in de derde kolom de bijbehorende adequate prikkel.
- 2 In afbeelding 3 zie je twee diagrammen. Hierin wordt de impulsfrequentie weergegeven in een sensorisch neuron dat is verbonden met een smaakreceptor. Een halve liter cola bevat 13,5 klontjes suiker. Een halve liter tomatenketchup bevat 5 klontjes suiker. De smaakreceptor wordt geprikkeld door suiker in tomatenketchup. Welk diagram geeft de impulsfrequentie in een sensorisch neuron weer? Leg je antwoord uit.
- 3 In afbeelding 4 is in een diagram de tijdsduur weergegeven van een prikkel die aan drie zintuigen is toegediend. Daaronder is de impulsfrequentie weergegeven in de sensorische neuronen die zijn aangesloten op deze zintuigen. Welk zintuig heeft de hoogste adaptatiesnelheid en welk de laagste? Leg je antwoord uit.



- 4 De chilipeperplant maakt in het vruchtvlees van de pepers de stof capsaïcine aan. Een gerecht met chilipepers smaakt voor mensen 'heet'. Dit komt doordat bepaalde warmtereceptoren die reageren op temperaturen van 42 °C of hoger, ook reageren op capsaïcine. Sommige vogels eten de pepers zonder last te hebben van de capsaïcine.
 - a Wat kan een verklaring zijn dat sommige vogels geen last hebben van de capsaïcine in de vruchten?
 - b Door de aanwezigheid van capsaïcine worden de vruchten minder vaak door planteneters aangevreten. De vogels die de zaden eten, verteren deze niet. Wat is de functie van de capsaïcine voor de chilipeperplant?
- 5 Bij honden hebben de reukzintuigen een lagere prikkel drempel voor geuren dan bij mensen. Wat is het voordeel van de lagere prikkel drempel voor de honden?

- 6 Je duikt in een zwembad met koud water. Na een tijdje voel je niet meer dat het water koud is.
 - a Leg uit hoe dat komt. Gebruik in je uitleg de volgende woorden: *adaptatie* – *prikkeldrempel* – *impulsfrequentie* – *gevoeligheid*.
 - b Welke functies heeft adaptatie voor het functioneren van het zintuig en voor het organisme?
- 7 Mensen gebruiken zintuigen niet alleen om te overleven, maar ook om te genieten.

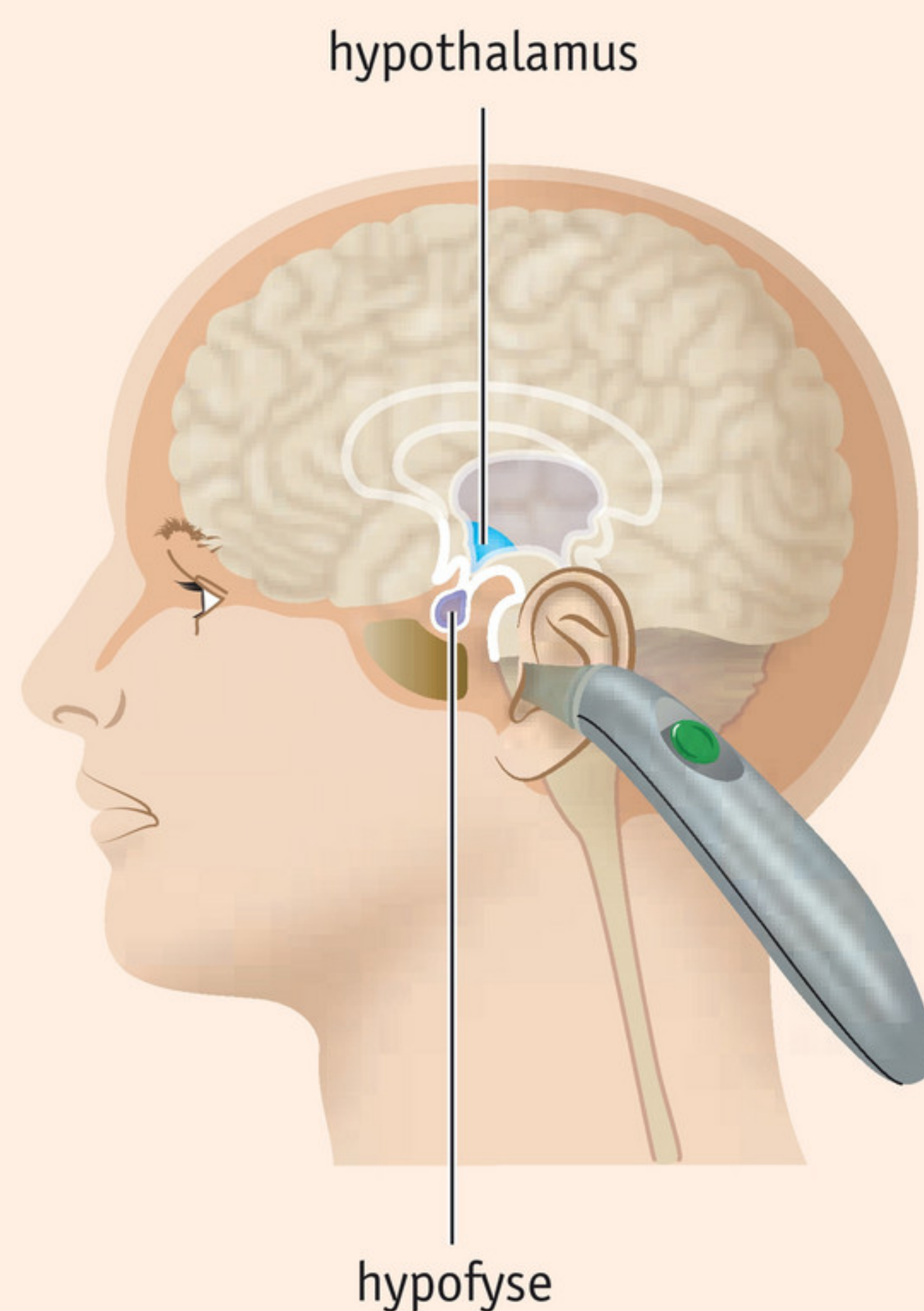
Van welke prikkels afkomstig uit het externe milieu (cultuur en natuur) kun jij genieten? Noem twee prikkels.

CONTEXT

Leefwereld

Het zit tussen je oren

▼ Afb. 5 Ligging van de hypothalamus.



We krijgen het mee van onze voorouders en we hoeven er niet bij na te denken: een normwaarde van rond de 37 °C. Een apart zintuig houdt als een thermostaat je lichaamstemperatuur in de gaten en stuurt zo nodig bij. Het trommelvlies en de hypothalamus (zie afbeelding 5) ontvangen bloed uit hetzelfde bloedvat. De infraroodsensor van een oorthermometer meet vrijwel dezelfde temperatuur als de temperatuurreceptoren bij de hypothalamus, de thermostaat van ons lichaam. Als de temperatuur te veel van de normwaarde afwijkt, herstelt de hypothalamus de kerntemperatuur via het autonome zenuwstelsel. De warmteproductie en warmteafgifte worden beïnvloed door variatie van de stofwisselingsactiviteit en de bloedtoevoer naar de huid. Zweeten, bibberen en kippenvel hebben we te danken aan de thermostaat tussen onze oren.

opdrachten

- 8 De temperatuurzintuigen van de hypothalamus ontvangen informatie over de interne lichaamstemperatuur.
 - a Welke receptoren verschaffen het centrale zenuwstelsel informatie over de externe lichaamstemperatuur?
 - b Hoe reageren de temperatuurreceptoren van de hypothalamus op een stijging van de lichaamstemperatuur?
 - c De temperatuur van het bloed is een goede graadmeter voor de lichaamstemperatuur. Leg dit uit.
 - d Als je direct na het sporten gaat zitten, koel je snel en soms te veel af. De hypothalamus zal de schildklier en het bijniemerg stimuleren via het autonome zenuwstelsel en zo afkoeling van het lichaam tegengaan. Hoe kun je dit verklaren?
 - e Bij een te lage lichaamstemperatuur kun je bewust reageren. Geef een voorbeeld.
- 9 Kippenvel ontstaat doordat haarwortelspiertjes zich aanspannen. Daardoor gaan de haartjes rechtop staan.
 - a Bestaan de haarwortelspiertjes uit glad of dwarsgestreept spierweefsel?
 - b Kippenvel kun je bij de mens een rudimentair verschijnsel noemen. Leg dit uit.
- 10 In een hete, vochtige sauna bestaat eerder risico op oververhitting dan in een hete, droge saunarimte. Verklaar dit.

Leerdoelen

- Je kunt de delen van een oog beschrijven en hun functie toelichten.
- Je kunt de beeldvorming door ooglenzen beschrijven en de pupilreflex toelichten.
- Je kunt de bouw en werking van het netvlies beschrijven en toelichten hoe je diepte kunt zien.

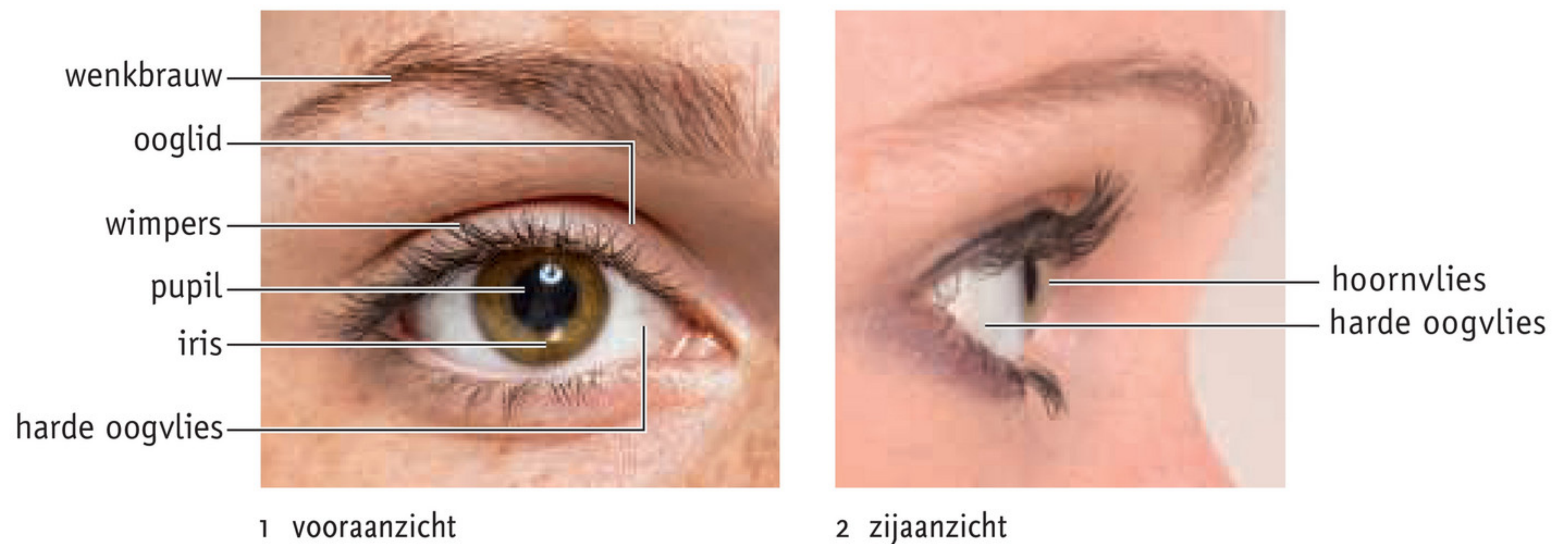
2 Het oog

Elk oog bevat maar liefst 125 miljoen zintuigcellen en een verstelbare lens. Deze uitrusting is de basis voor de vorming van een scherp (kleuren)beeld op verschillende afstanden. Twee miljoen neuronen verbinden de zintuigcellen met de gezichtscentra in de hersenen zodat je een driedimensionaal beeld kunt zien.

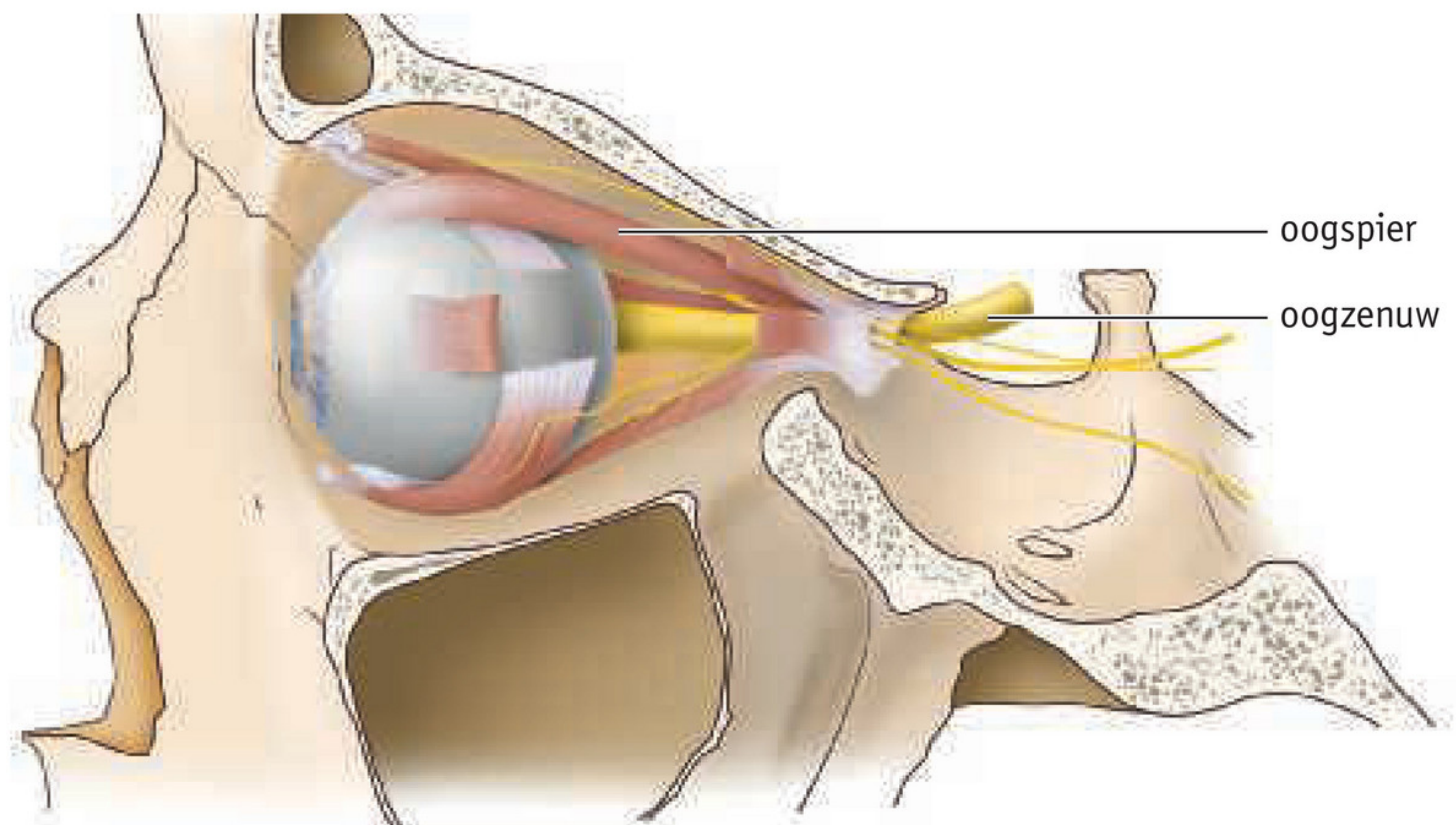
DE BOUW VAN DE OGEN

Het witte gedeelte van een oog heet het **harde oogvlies** (zie afbeelding 6.1). Dit is een stevig vlies dat het binnenste van een oog bescherming geeft. Aan de voorzijde gaat het harde oogvlies over in het **hoornvlies** (zie afbeelding 6.2). Dit is doorzichtig, zodat licht het oog kan binnenvallen. Het gekleurde gedeelte van een oog heet **iris** of **regenboogvlies**. De kleur van de iris wordt veroorzaakt door **pigmenten**. In de iris zit een opening: de **pupil**. De iris regelt de hoeveelheid licht die via de pupil het oog binnenvalt door de pupil groter of kleiner te maken. Onder de huid boven de ogen liggen traanklieren. Deze produceren traanvocht dat door de oogleden over het oog wordt verspreid. Het traanvocht beschermt de ogen tegen uitdroging. Ook reinigt het de ogen door kleine stofjes of prikkelende stoffen weg te spoelen. In de ooghoeken zitten twee kleine openingen. Hierdoor komt het traanvocht terecht in de traanbuizen en wordt het afgevoerd naar de neusholte. In beide oogkassen zijn verschillende oogspieren aan het harde oogvlies bevestigd (zie afbeelding 7). De oogspieren draaien de ogen in de gewenste richting.

► **Afb. 6** Een oog en een gedeelte van het gezicht.

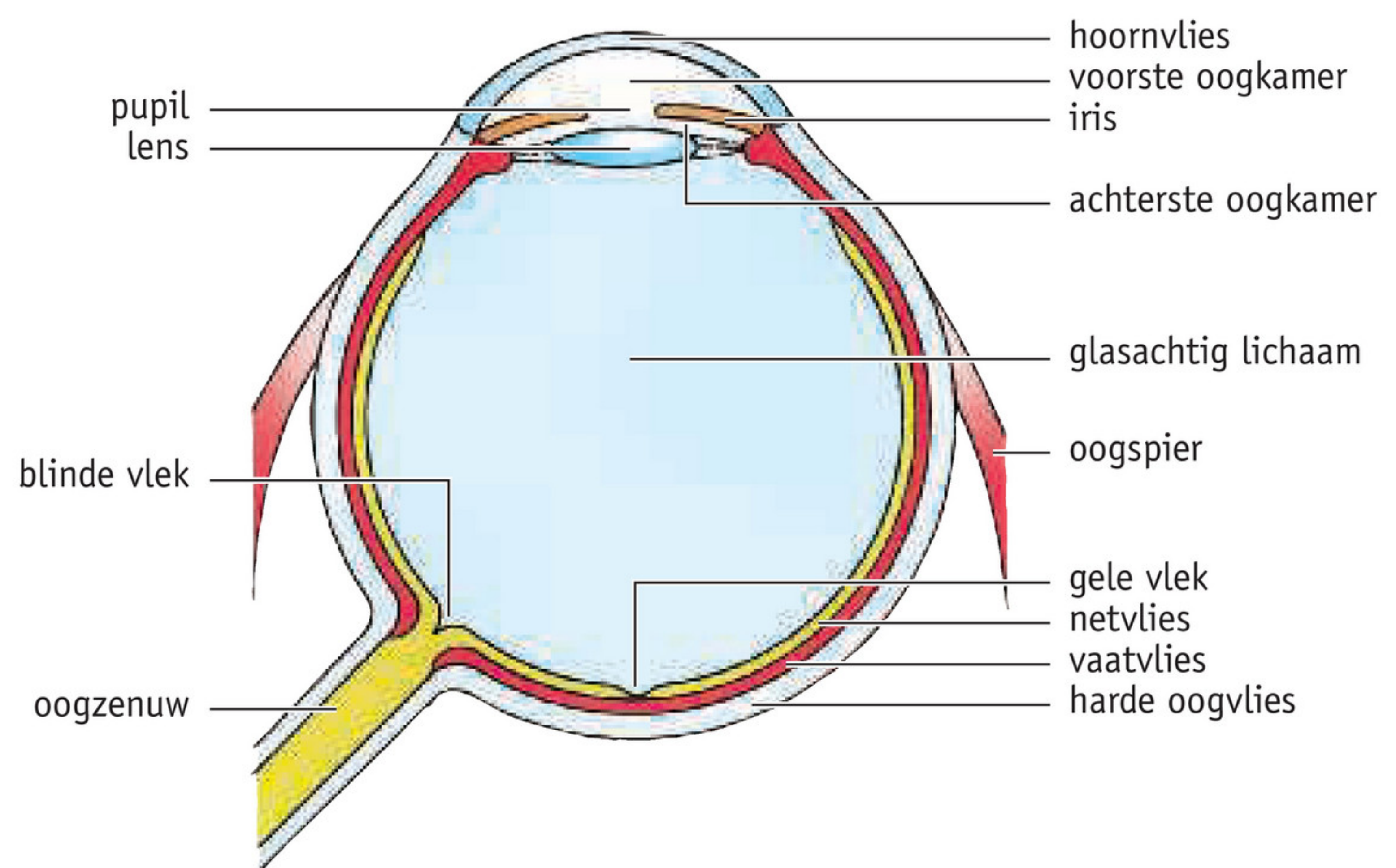


► **Afb. 7** De oogspieren (schematisch).



Een oog is voor het grootste deel gevuld met een geleachtige massa: het **glasachtig lichaam** (zie afbeelding 8). De wand van een oog bestaat uit drie lagen. Onder het harde oogvlies bevindt zich het **vaatvlies**. Deze laag bevat veel bloedvaten en zorgt voor de voeding van een groot deel van het oog. Aan de voorkant van het oog gaat het vaatvlies over in de iris. Tussen het hoornvlies en de iris bevindt zich de **voorste oogkamer**. Tussen de iris en de ooglens ligt de **achterste oogkamer**. Beide kamers zijn gevuld met vocht. Achter de iris en de pupil bevindt zich de **ooglens**. Rondom de lens zit het **straalvormig lichaam**. Het hoornvlies, het straalvormig lichaam en de ooglens zorgen ervoor dat op het netvlies een scherp beeld ontstaat van waar je naar kijkt. Lichtstralen die het oog binnenvallen, worden gebroken door het hoornvlies en de ooglens. De binnenste laag van de wand van een oog is het **netvlies**. Het wordt door het glasachtig lichaam op zijn plaats gehouden. In het netvlies liggen de lichtreceptoren. Deze worden geprikkeld wanneer er licht op valt. In de lichtreceptoren ontstaan dan impulsen die via de oogzenuw naar de hersenen worden geleid. In het centrum van het netvlies ligt de **gele vlek**. Met de lichtreceptoren in de gele vlek kun je het scherpst zien. Een laag neuronen verbindt de lichtreceptoren met de oogzenuw. De plaats van het netvlies waar de oogzenuw het oog verlaat, is de **blinde vlek**. Deze plaats is ook de doorgang voor bloedvaten.

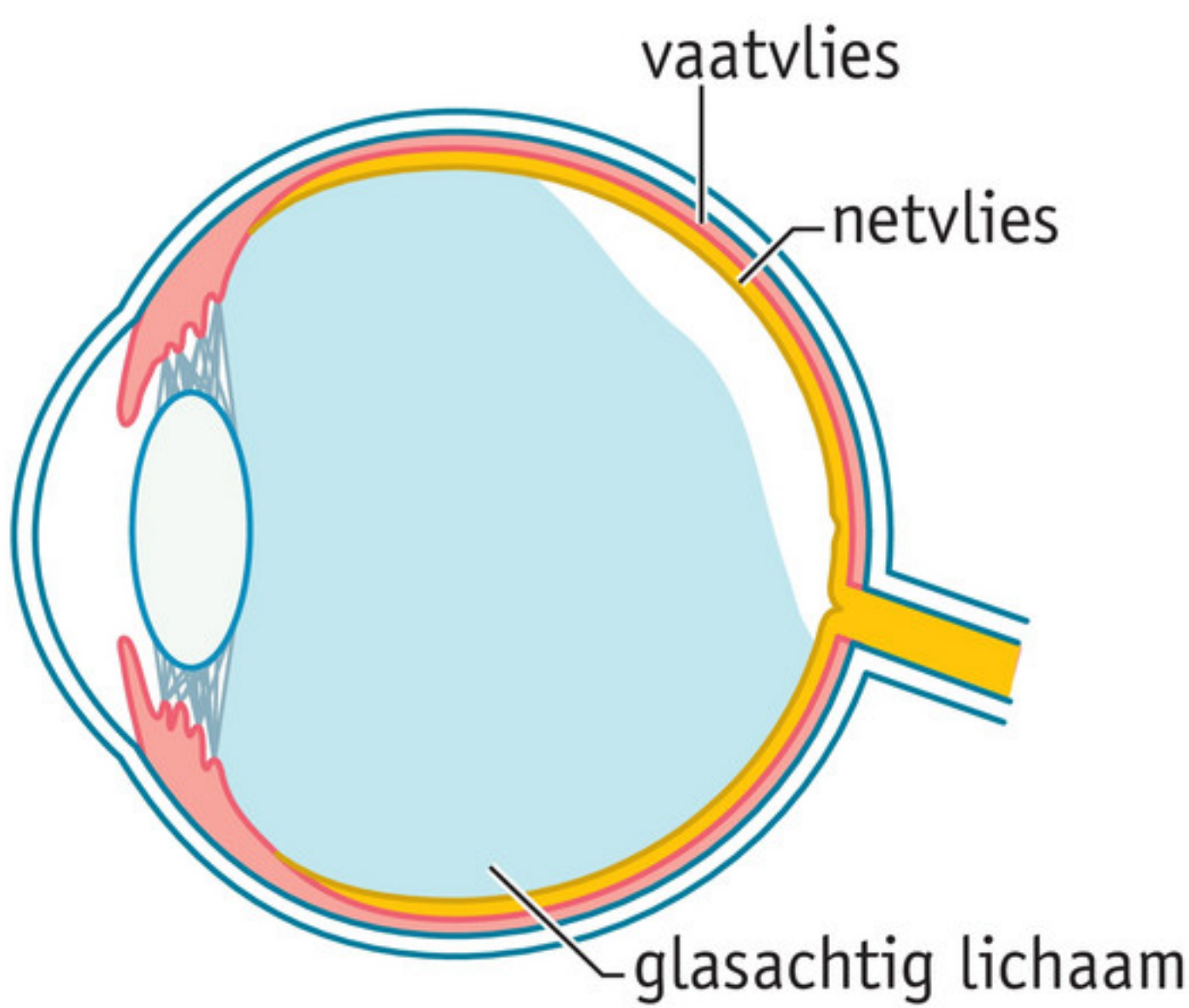
► **Afb. 8** Het oog (horizontale doorsnede, schematische tekening).



opdrachten

- 11 Waardoor gaat iemand die huilt 'snotteren'?
- 12 Het hoornvlies bevat veel zenuwuiteinden. Deze hebben geen myelineschede en zijn daardoor zeer gevoelig. Wanneer je de zenuwuiteinden prikkelt, treedt er een reflex op.
 - a Welke reflex treedt dan op?
 - b Wat zijn de effectoren bij deze reflex en wat is het nut van deze reflex?
 - c Het hoornvlies bestaat uit dekweefselcellen. Het is geheel doorzichtig en bevat geen bloedvaten.
Hoe wordt het hoornvlies langs de buitenkant voorzien van zuurstof? En langs de binnenkant?

- ▼ **Afb. 9** Het glasachtig lichaam achter in het oog laat los.



- ▼ **Afb. 10** De binnenkant van het oog.

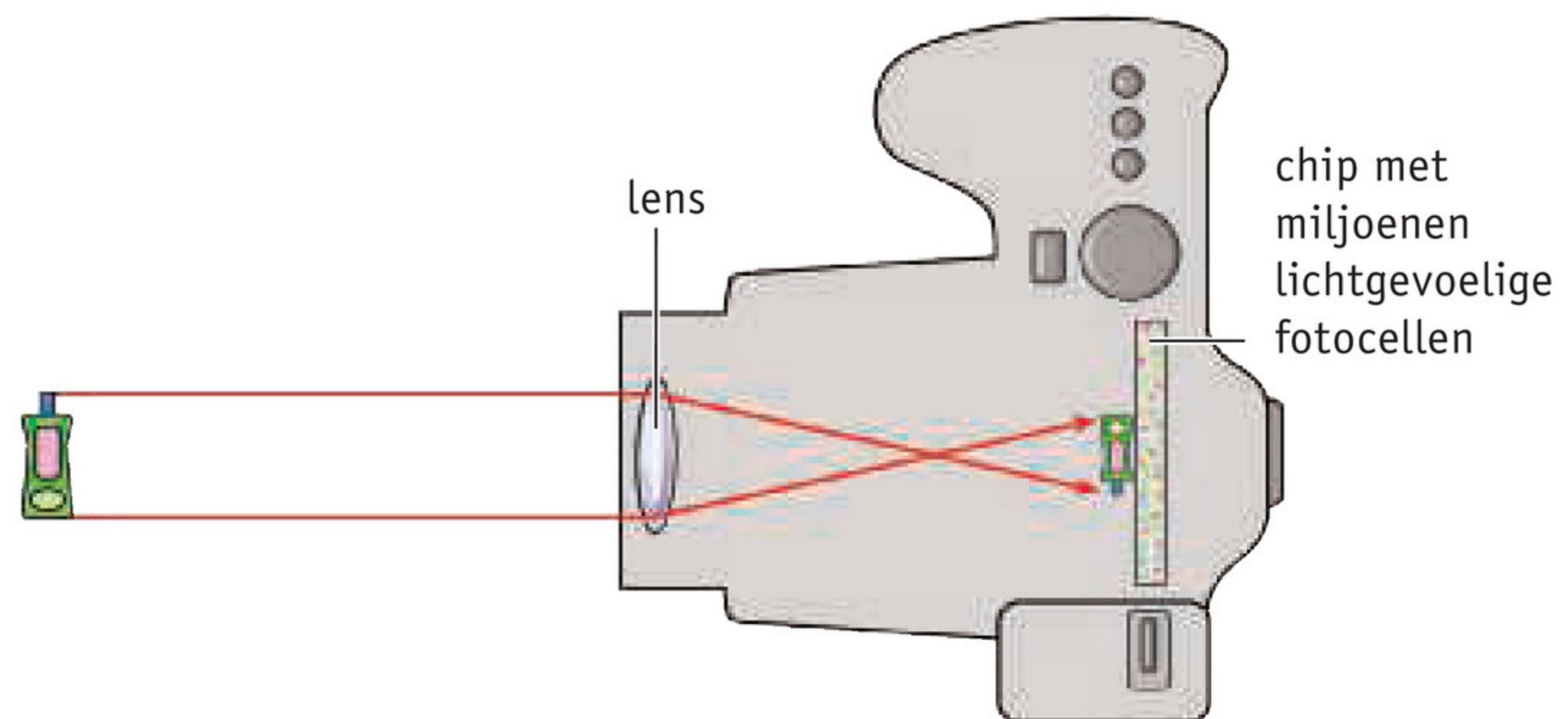


- **Afb. 11** Beeldvorming door lenzen (schematisch).

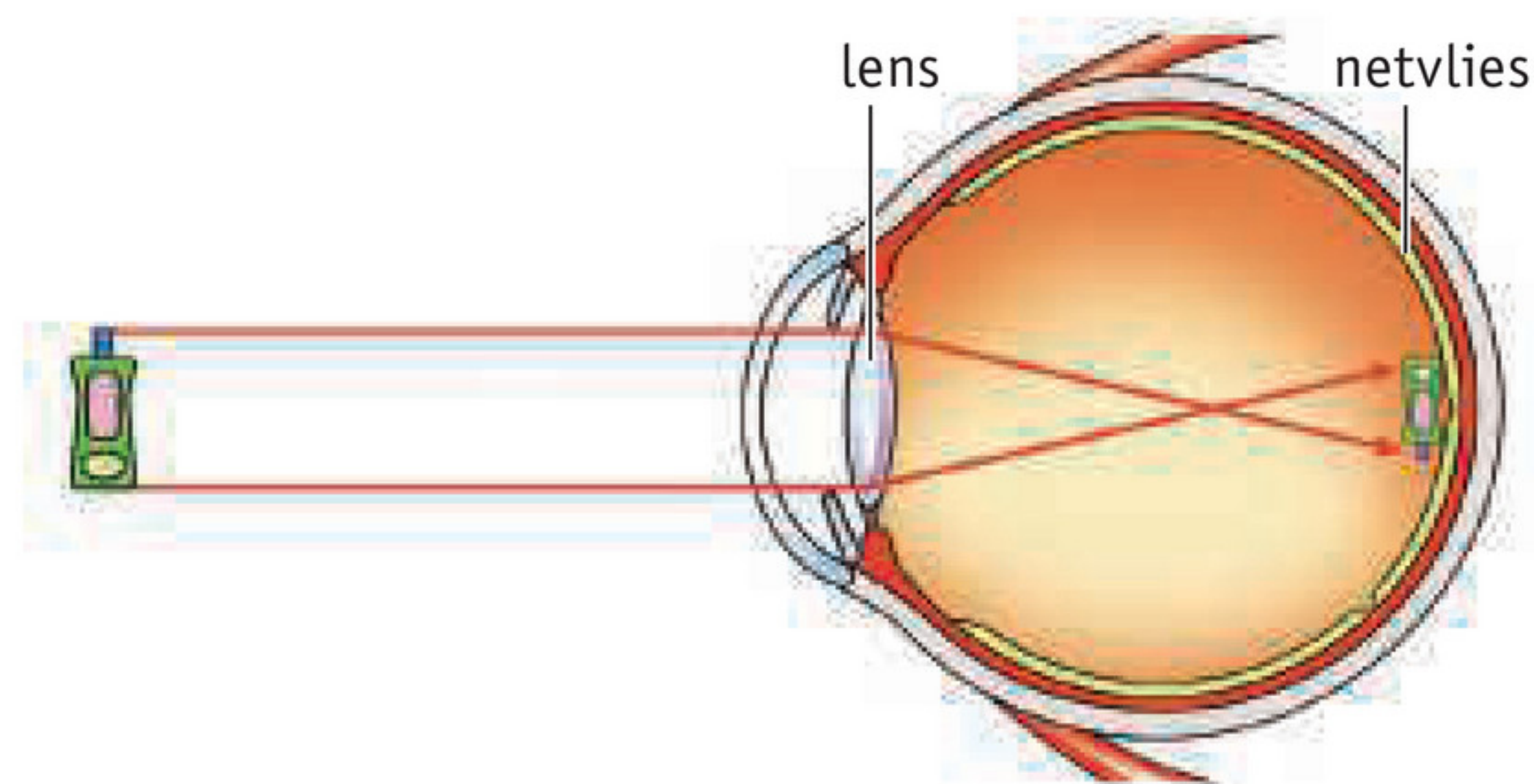
- 13 Een albino kan door een erfelijke afwijking geen pigment maken. Hierdoor heeft een albino een witte huid en witte haren en de ogen hebben een rode iris.
- Waardoor is de iris van een albino rood?
 - Het glasachtig lichaam zit aan het netvlies vast. Bij oudere mensen kan het glasachtig lichaam krimpen en aan de achterkant in het oog loslaten (zie afbeelding 9). Je ziet daardoor een wazige of zwarte vlek in het beeld. Wat kan hiervoor een verklaring zijn?
- 14 Afbeelding 10 is het beeld dat een oogarts ziet als hij door de pupil in het oog kijkt. Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 87C).
- Door welke delen van het oog kijkt de oogarts achtereenvolgens?
 - Welk deel van het oog ziet de oogarts als hij door de pupil kijkt?
 - De oogarts ziet onder andere twee vlekken. Welk nummer in de afbeelding geeft de gele vlek aan en welk nummer de blinde vlek? Leg je antwoord uit.

BEELDVORMING

Als je ergens naar kijkt, valt het beeld op het netvlies. Dit beeld is, net als in een camera, omgekeerd en verkleind (zie afbeelding 11). In de lichtreceptoren in het netvlies ontstaan impulsen die door sensorische neuronen naar de gezichtscentra in de grote hersenen worden geleid. Deze verwerken de impulsen zo, dat je het beeld rechtopstaand en op de ware grootte waarneemt.



1 in een fotocamera



2 in een oog

ACCOMMODEREN

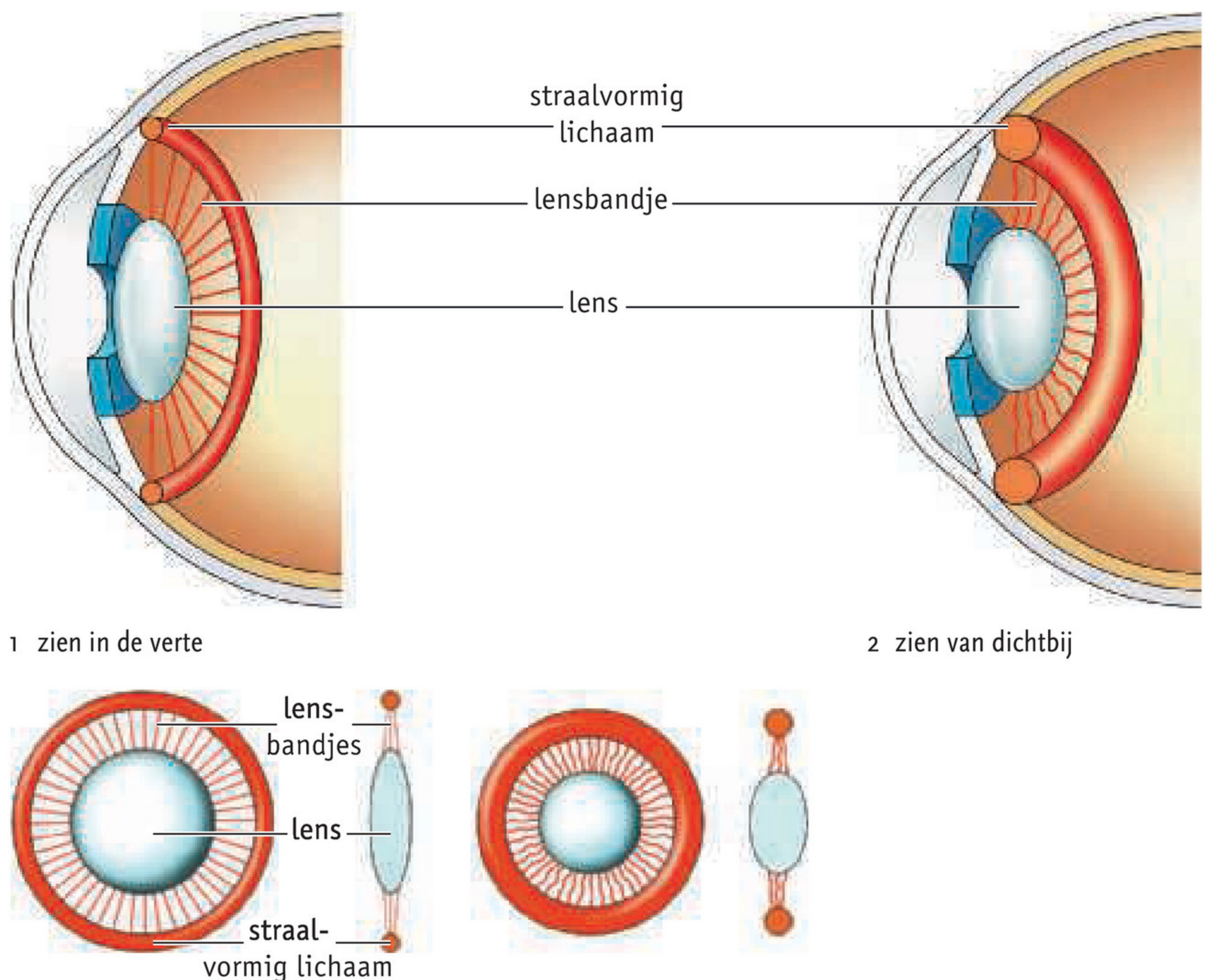
Het ene moment zie je iets van dichtbij scherp en het andere moment iets van veraf. In beide gevallen wordt op het netvlies een scherp beeld gevormd. Je kunt niet tegelijkertijd iets van veraf en iets van dichtbij scherp zien. Bij veel soorten vissen en bij inktvissen ontstaat een scherp beeld op het netvlies, doordat de lens door spieren naar voren of naar achteren wordt bewogen. Dat lijkt op het scherpstellen zoals bij een camera. De ooglenzen kan bij deze dieren niet van vorm veranderen.

Bij mensen kan de afstand tussen de ooglenzen en het netvlies niet veranderen. Om scherpe beelden te krijgen van voorwerpen op verschillende afstanden, verandert de vorm van de ooglenzen.

Een ooglenzen hangt met lensbandjes in het straalvormig lichaam (zie afbeelding 12). In het straalvormig lichaam liggen kringspieren. Als je kijkt naar een voorwerp in de verte (op meer dan vijf meter afstand), zijn de kringspieren in de straalvormige lichamen ontspannen. Je ogen zijn in rusttoestand. Door de druk van de glasachtige lichamen wordt de doorsnede van de straalvormige lichamen groot. Daardoor worden de lensbandjes strak gespannen, waardoor ze aan de ooglenzen trekken. De ooglenzen worden hierdoor platter. Het beeld van het voorwerp op het netvlies is scherp (zie afbeelding 12.1).

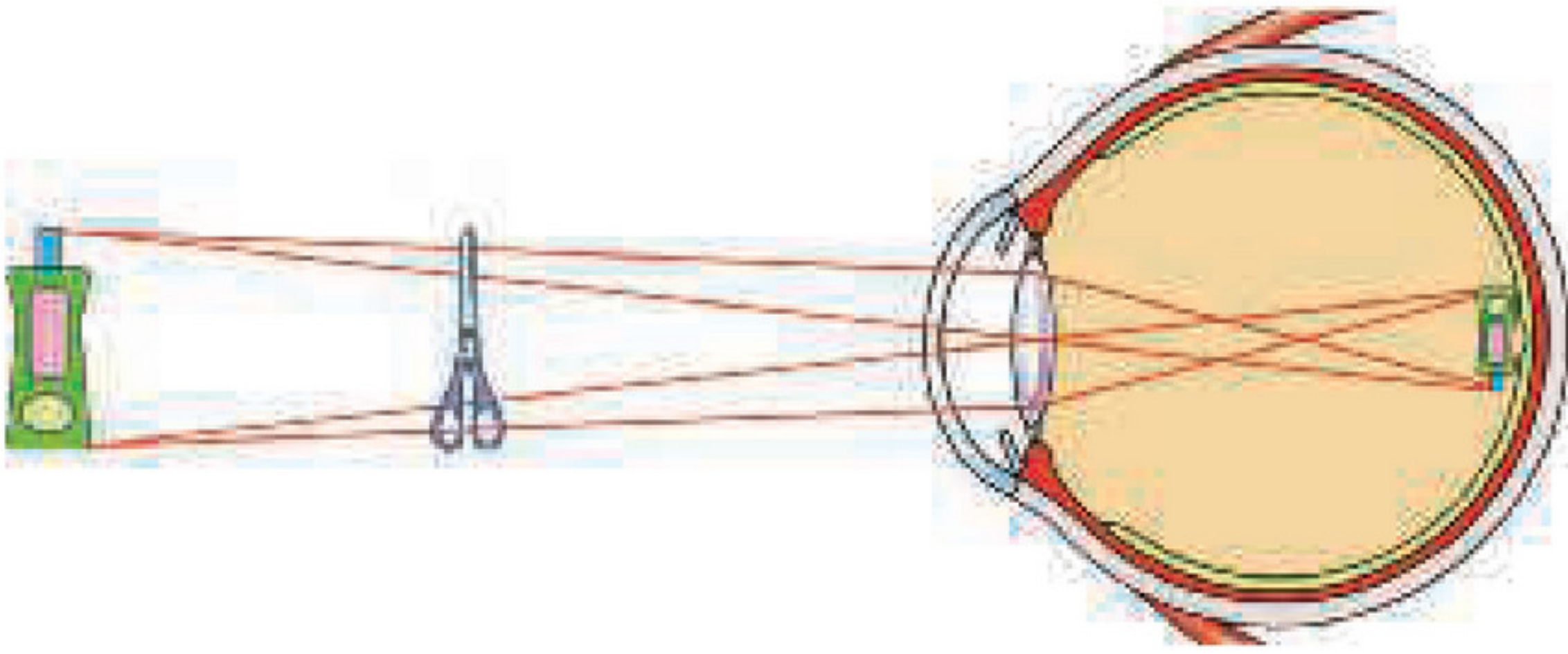
Als je vervolgens naar een voorwerp dichtbij kijkt (op minder dan vijf meter afstand), ontstaat er een onscherp beeld op je netvlies. De kringspieren in de straalvormige lichamen trekken zich samen. Hierdoor wordt de doorsnede van de straalvormige lichamen kleiner. Het gevolg is dat de lensbandjes minder strak worden gespannen, waardoor ze minder aan de ooglenzen trekken. De ooglenzen kunnen hierdoor boller worden (zie afbeelding 12.2).

► **Afb. 12** De ooglenzen en de bevestiging van de ooglenzen (schematisch).

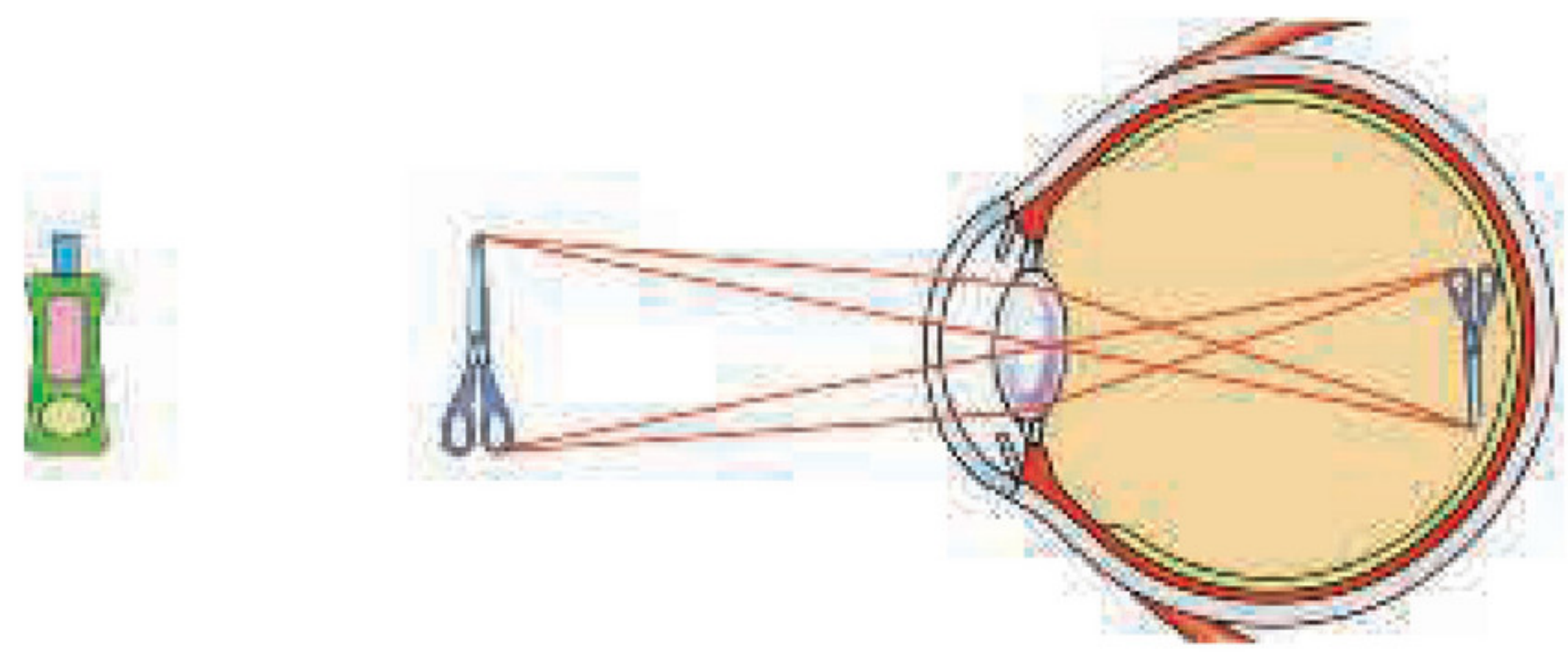


▼ **Afb. 13** Accommoderen van de ooglenzen.

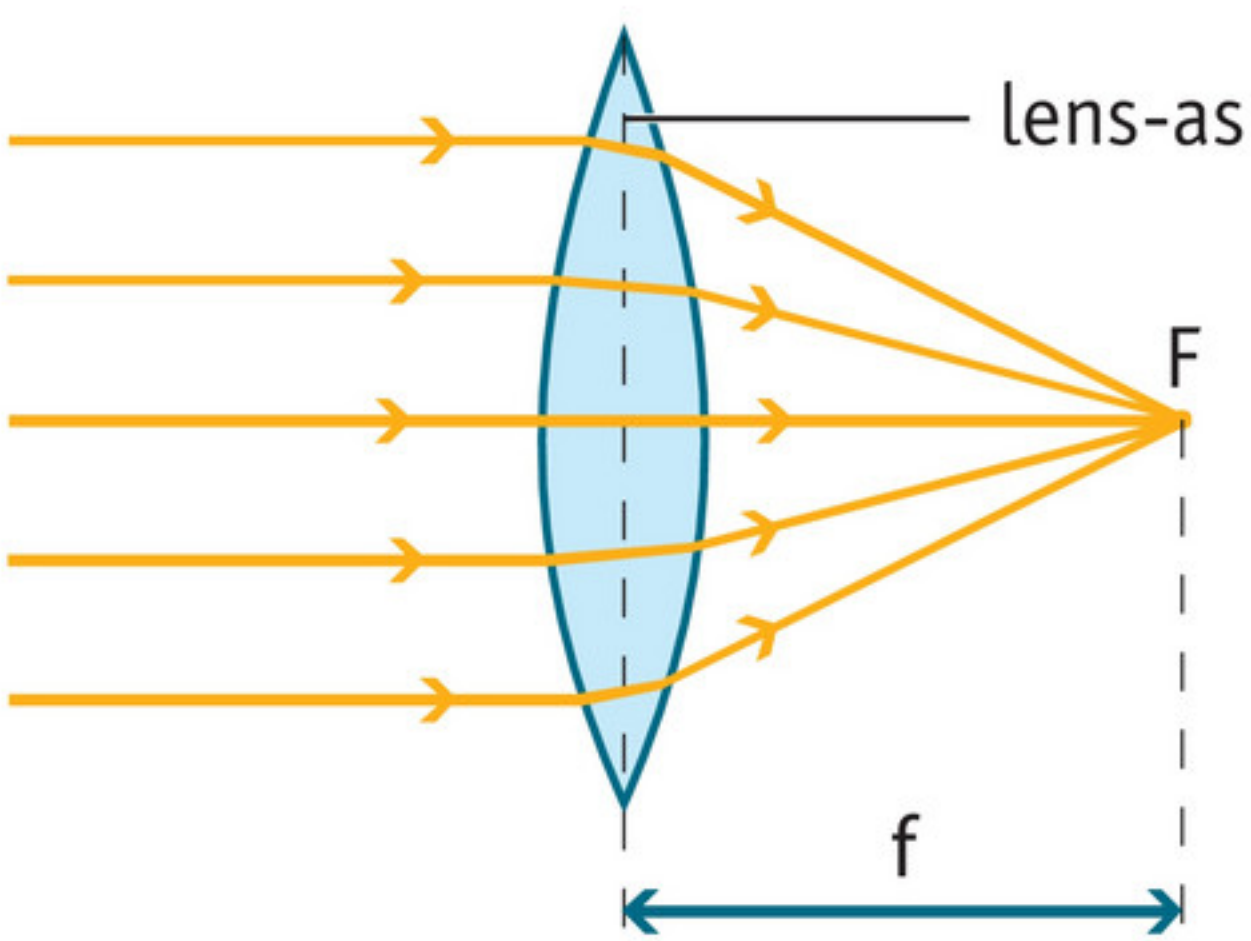
Het boller en platter worden van de lens heet **accommoderen**. Door accommoderen ontstaat, zowel bij het zien van dichtbij als in de verte, een scherp beeld op het netvlies (zie afbeelding 13). Als reactie op een onscherp beeld op het netvlies verandert door de accommodatiereflex de spanning in de kringspieren. Je noemt de kringspieren in de straalvormige lichamen daarom ook wel **accommodatiespieren**.



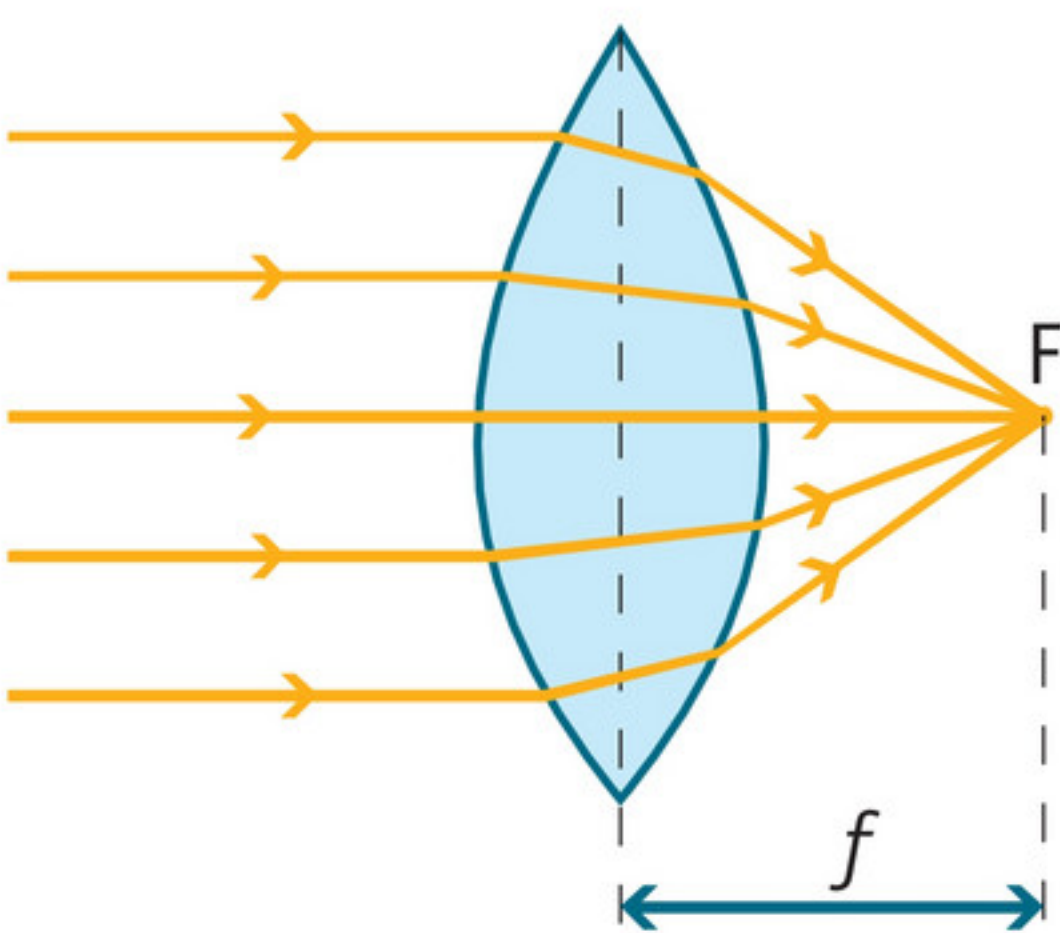
1 De ooglenzen is minder bol bij het zien in de verte.



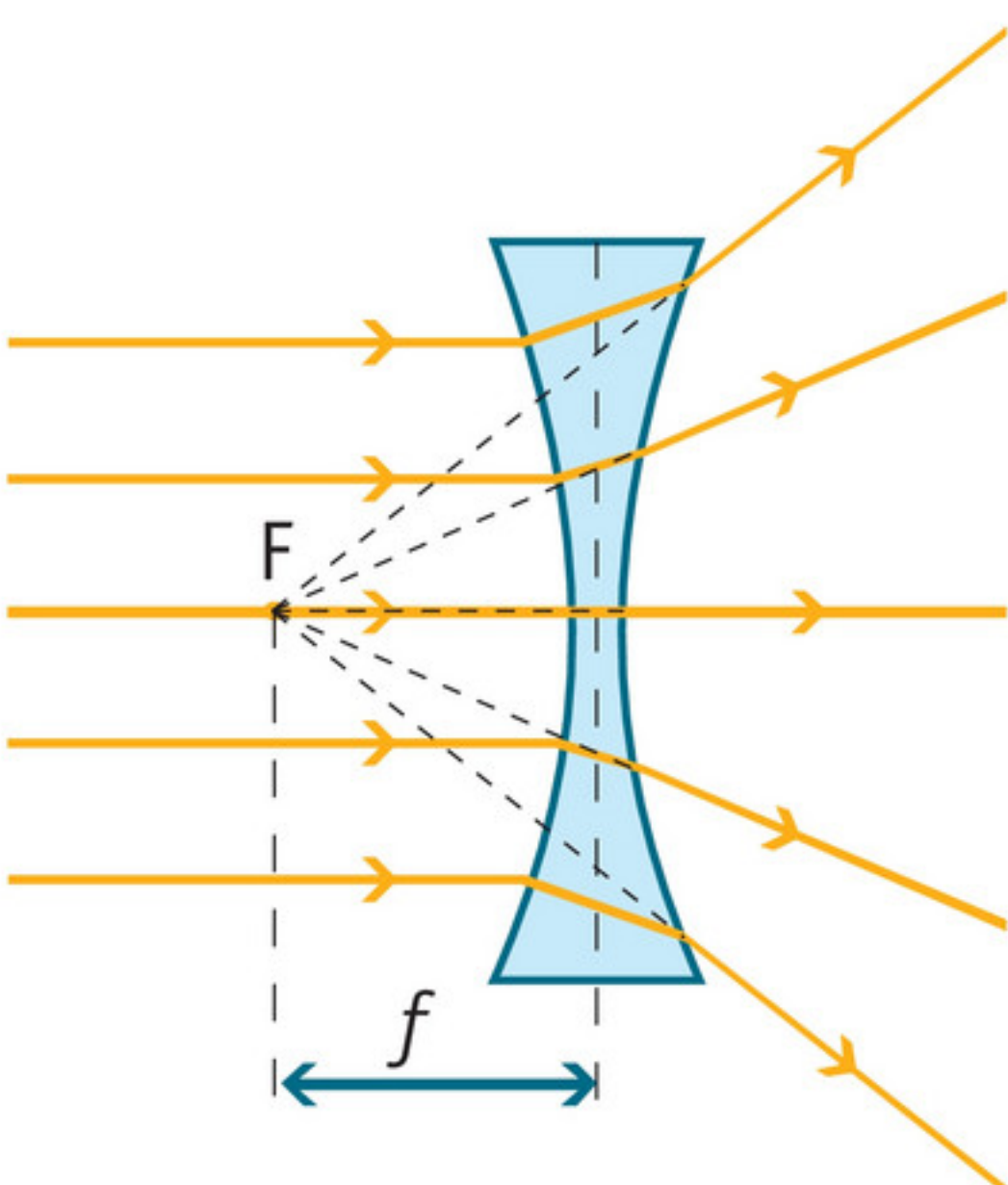
2 De ooglenzen is boller bij het zien van dichtbij.

▼ **Afb. 14** Lichtbreking door lenzen.

1 door een bolle (positieve lens)



2 door een nog bollere lens



3 door een holle (negatieve) lens

opdrachten

- 15** Dion kijkt naar een voorwerp dat zich op 8 m afstand van zijn ogen bevindt en daarna naar een voorwerp dat zich op 1 m van zijn ogen bevindt. Hierdoor verandert de vorm van zijn ooglenzen.
- Waar in het oog bevinden zich de receptoren van de accommodatiereflex?
 - Waar bevinden zich de effectoren van de accommodatiereflex?
 - Neemt bij Dion de spanning in de lensbandjes af of toe? Leg je antwoord uit.
 - Waar bevinden zich de conductoren van de reflexboog van de accommodatiereflex?
 - De kringspieren die zorgen voor accommodatie van de ooglenzen, hebben geen antagonisten.
Welk deel van een oog oefent een tegenovergestelde werking uit ten opzichte van de accommodatiespieren? Leg je antwoord uit.
- 16** Koen houdt met gestrekte arm een potlood voor zich.
- Zal hij het potlood scherp waarnemen als de accommodatiespieren in zijn ogen ontspannen zijn?
 - Wanneer Koen lang naar een computerscherm kijkt, krijgt hij last van vermoeide, brandende ogen. Leg uit hoe dat komt.

LICHTBREKING DOOR POSITIEVE EN NEGATIEVE LENZEN

Lichtstralen worden in een andere richting gebogen (gebroken) op plaatsen waar ze overgaan van het ene medium naar het andere (gas, vloeibaar of vast). Je kunt twee soorten lenzen onderscheiden.

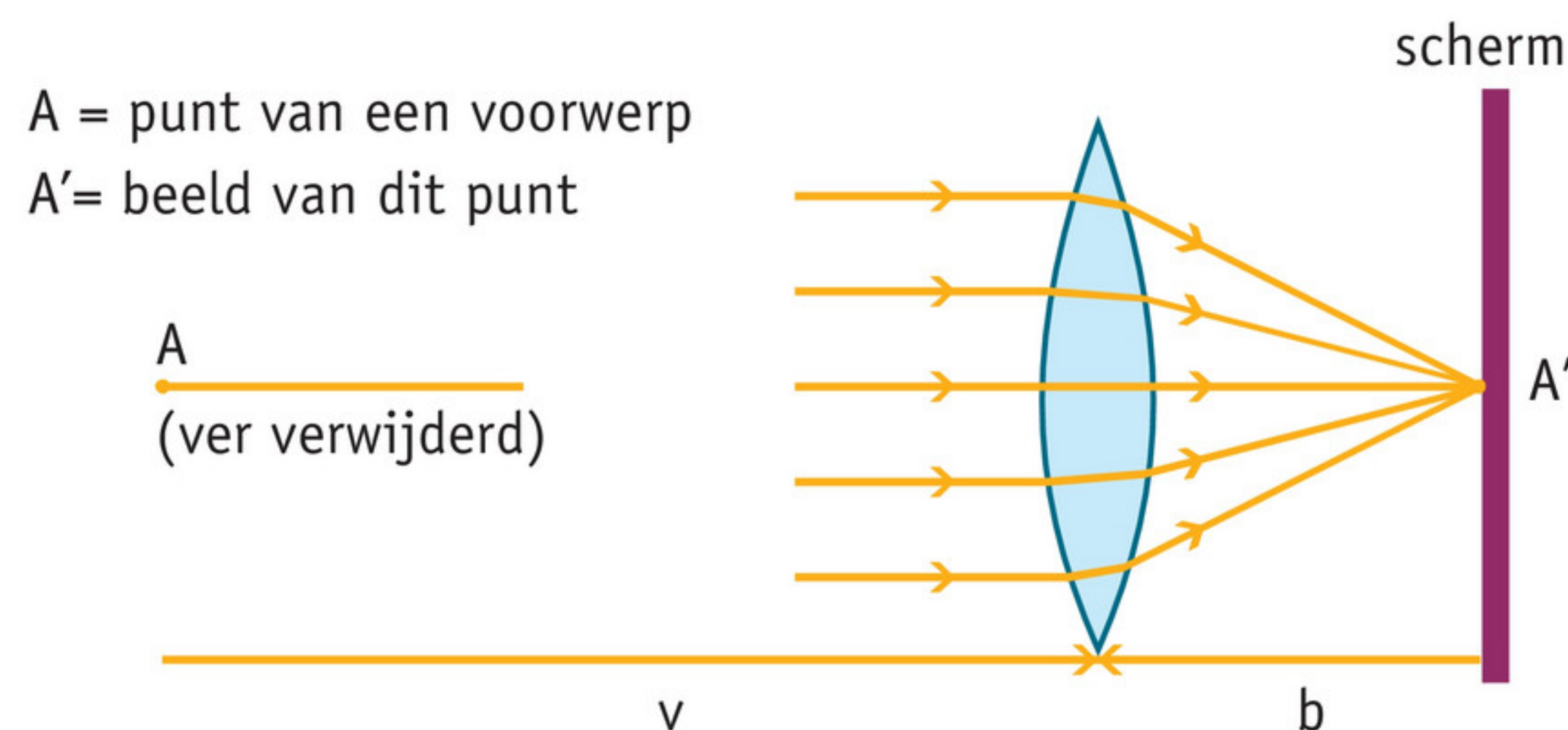
Bolle of **positieve lenzen** zijn in het midden dikker dan aan de randen en buigen lichtstralen naar elkaar toe (zie afbeelding 14.1). Dit heet **convergeren**. Lichtstralen die evenwijdig aan elkaar op een bolle lens vallen, komen achter de lens bij elkaar in het **brandpunt** (F). Hoe boller de lens, hoe kleiner de **brandpuntsafstand** (f). Dit is de afstand gemeten tussen de as van de lens en brandpunt F (zie afbeelding 14.2).

Holle of **negatieve lenzen** zijn in het midden dunner dan aan de randen en spreiden (**divergeren**) lichtstralen (zie afbeelding 14.3). De lichtstralen die de lens verlaten, lijken uit één punt afkomstig te zijn. Het brandpunt ligt bij holle lenzen vóór de lens. De brandpuntsafstand heeft dan een negatieve waarde.

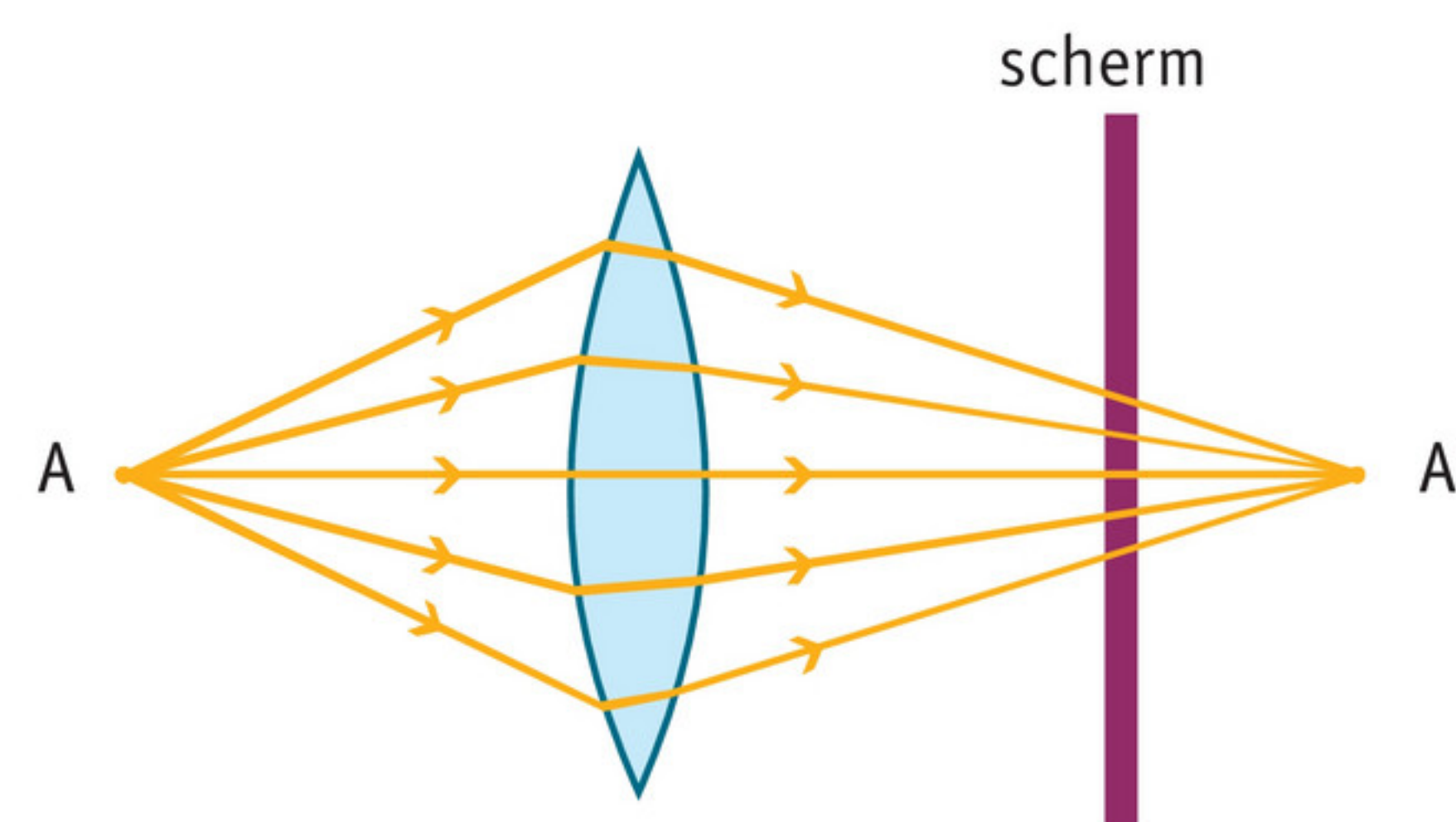
In afbeelding 15.1 zijn vijf evenwijdige lichtstralen getekend, afkomstig van één punt van een voorwerp A op grote afstand van de lens. De afstand vanaf het voorwerp tot aan de lens-as heet de **voorwerpsafstand** (v). Om een scherp beeld van dit punt te krijgen, moeten deze lichtstralen weer in één punt, beeldpunt A', bij elkaar komen. Ook van elk ander punt van het voorwerp moeten de lichtstralen weer in één punt samenkomen. Al deze punten samen leveren een beeld op van het voorwerp. Als je op de brandpuntsafstand achter een bolle lens een scherm plaatst, kun je dit beeld zichtbaar maken.

Lichtstralen die afkomstig zijn van een punt A dichtbij, vallen divergerend op de lens (zie afbeelding 15.2). De lichtstralen worden door de bolle lens minder sterk gebroken. De plaats waar deze stralen bij elkaar komen, valt daardoor achter het scherm. Op het scherm ontstaat zo een onscherp beeld. Om het beeld scherp te krijgen, kun je de afstand tussen de lens en het scherm (**beeldafstand** b) vergroten of de lens vervangen door een bollere lens (zie afbeelding 15.3).

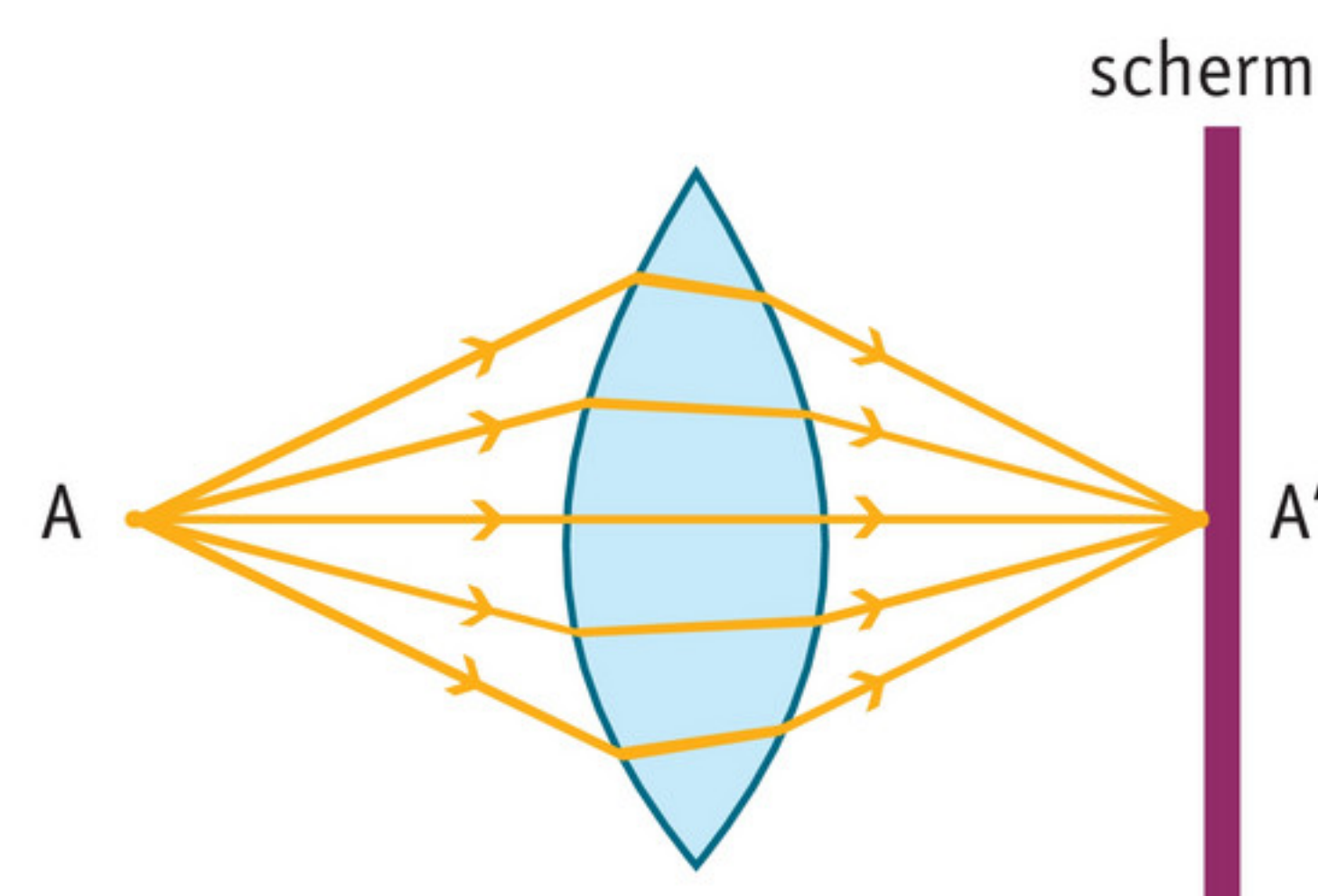
► **Afb. 15** Lichtbreking door een bolle lens.



1 Een voorwerp veraf geeft een scherp beeld.



2 Een voorwerp dichtbij geeft een onscherp beeld.



3 Een voorwerp dichtbij geeft een scherp beeld wanneer een bollere lens wordt gebruikt.

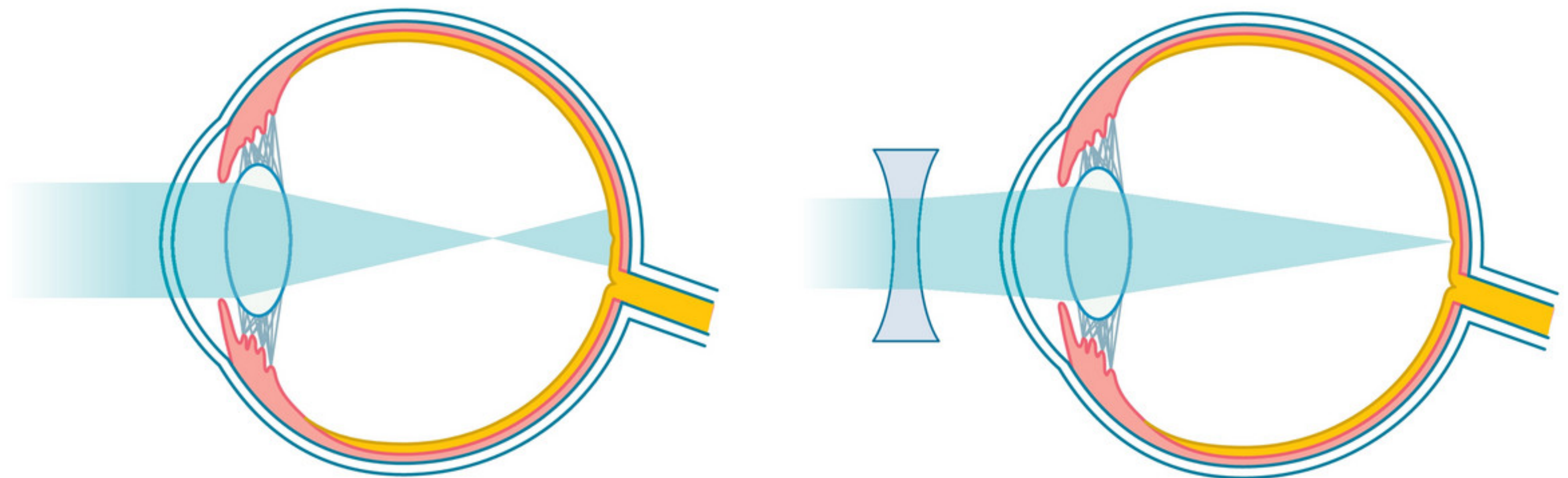
Ooglenzen zijn altijd bol. Lichtstralen buigen door de bolle vorm van het hoornvlies en de ooglenzen naar elkaar toe. Dit gebeurt vooral door het hoornvlies. Door accommodatie varieert de brandpuntsafstand van ooglenzen en ontstaat een scherp beeld. Beenvissen en amfibieën kunnen de beeldafstand wijzigen om een scherp beeld te krijgen. Beenvissen kunnen hun ooglenzen door spieren in de richting van het netvlies trekken, waardoor de beeldafstand kleiner wordt. Amfibieën kunnen hun lenzen naar de voorkant van de ogen trekken.

OOGAFWIJKINGEN

Bij mensen die **bijziend** zijn, is de oogbol te lang of worden de lichtstralen door het hoornvlies en/of de lens te sterk afgebogen (zie afbeelding 16.1). Je ziet dan voorwerpen van veraf niet scherp, maar voorwerpen van dichtbij wel. Bijziendheid kun je corrigeren met holle (negatieve) lenzen (zie afbeelding 16.2).

Bij mensen die **verziend** zijn, is de oogbol te kort of worden de lichtstralen door het hoornvlies en/of de lens niet voldoende afgebogen (zie afbeelding 17.1). Je ziet dan voorwerpen van dichtbij niet scherp, maar voorwerpen van veraf wel. Verziendheid kun je corrigeren met bolle (positieve) lenzen (zie afbeelding 17.2).

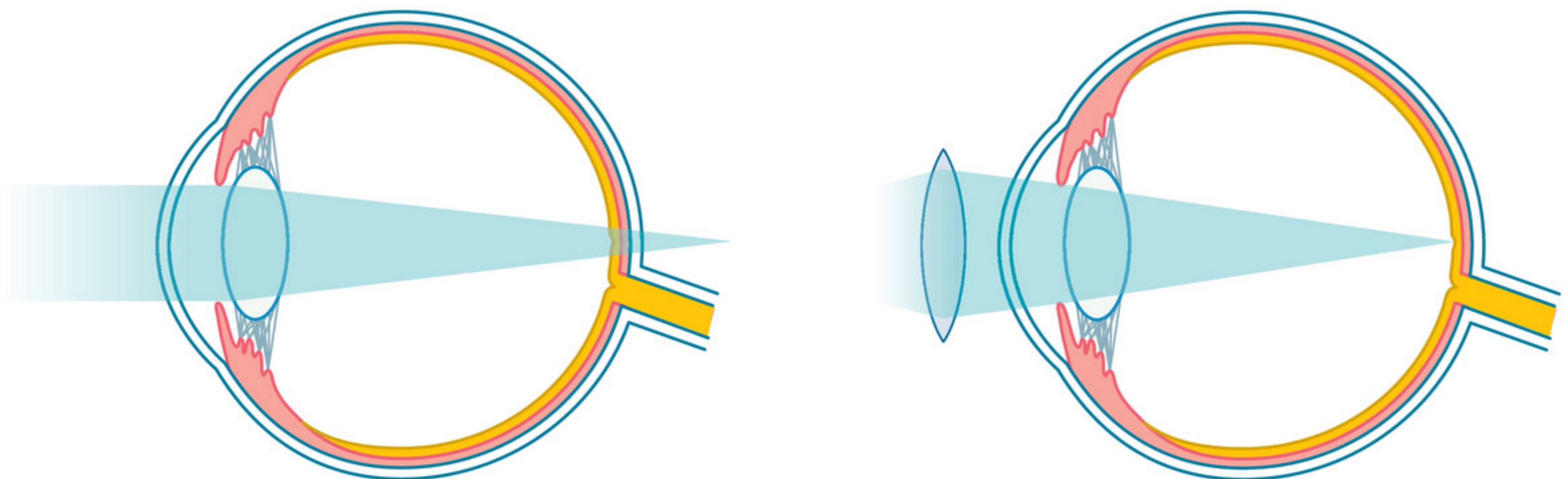
► **Afb. 16** Lichtbreking en correctie in een bijziend oog.



1 lichtbreking in een bijziend oog

2 correctie door een negatieve lens

► **Afb. 17** Lichtbreking en correctie bij een verziend oog.



1 lichtbreking in een verziend oog

2 correctie door een positieve lens

opdrachten

- 17 a** Welk verband bestaat er tussen de voorwerpsafstand en de beeldafstand bij een bolle lens (met een vast brandpunt)?
- b** In een fotocamera met verwisselbare lenzen wordt een bolle lens vervangen door een lens die minder bol is. Met beide lenzen kun je scherpe foto's maken van objecten op grote afstand. Welke van beide lenzen bevindt zich het dichtst bij de chip met lichtgevoelige fotocellen? Leg je antwoord uit.
- 18 a** Gewone zoet- en zoutwatervissen met een beenskelet zijn beenvissen. Ze kunnen hun lenzen door spieren in de richting van het netvlies trekken. Trekken deze spieren zich samen naarmate een voorwerp dichterbij komt of naarmate het verderaf gaat? Leg je antwoord uit.
- b** Trekken de spieren van amfibieën zich samen naarmate een voorwerp dichterbij komt of naarmate het verderaf gaat? Leg je antwoord uit.
- c** Bij welke van deze twee diergroepen zijn de ogen in rust ingesteld op het waarnemen van voorwerpen dichtbij? Leg je antwoord uit.
- d** Beenvissen kunnen met de ogen in rust van dichtbij goed zien. Leg uit dat dit functioneel is voor deze dieren.

- 19 Bij sommige mensen zijn de hoornvliezen te bol.
- Veroorzaakt deze afwijking bijziendheid of verziendheid?
 - Bij bijziendheid worden de lichtstralen te veel gebroken, waardoor het beeld voor het netvlies wordt 'gevormd'. Het is dan geen probleem om voorwerpen dichtbij scherp te zien. Leg dit uit.
 - Bij verziendheid is het een probleem om voorwerpen van dichtbij scherp te zien. Leg dit uit.

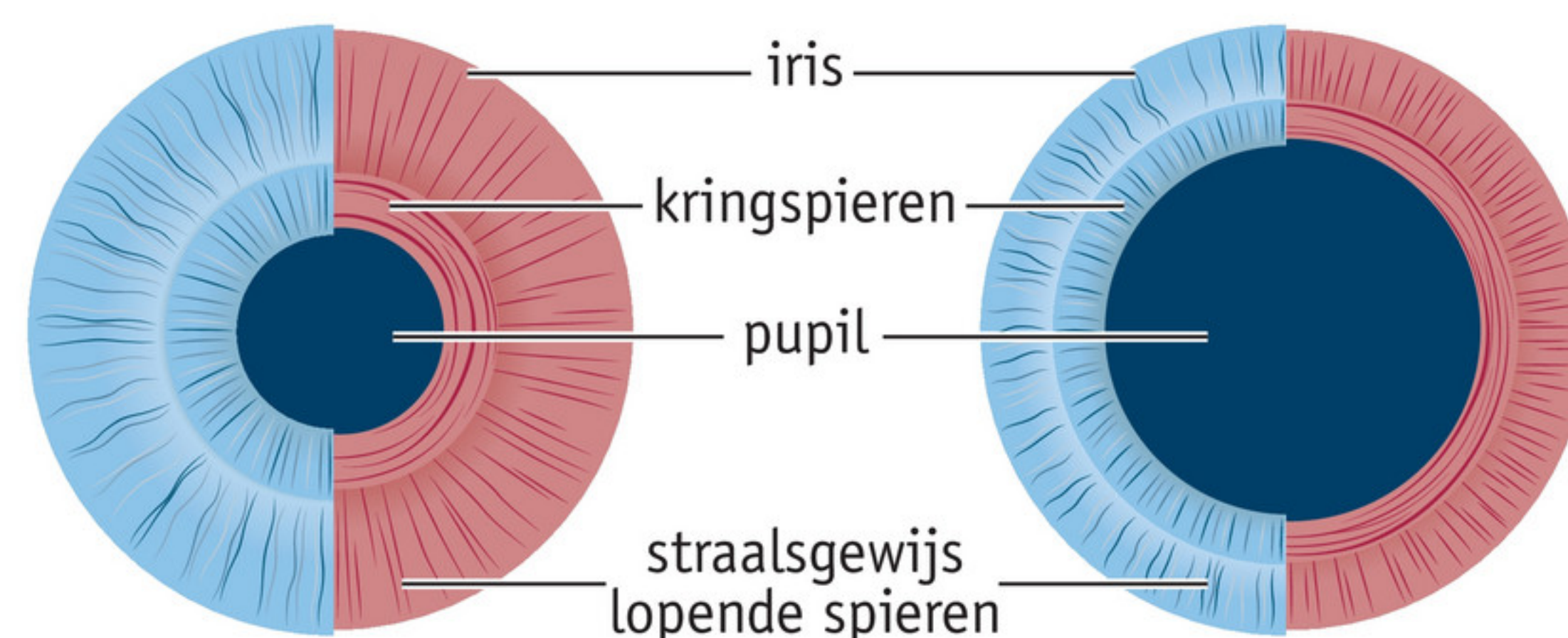
DE PUPILREFLEX

De intensiteit van het licht dat je ogen binnenvalt, is niet altijd gelijk. Een te hoge lichtintensiteit kan de lichtreceptoren in het netvlies beschadigen. Je wimpers vormen een eerste bescherming tegen te fel licht, maar de **pupilreflex** is de belangrijkste bescherming. Deze regelt de hoeveelheid licht die op het netvlies valt.

In de iris bevinden zich kringspiieren en **straalsgewijs lopende spieren** (zie afbeelding 18). Samen bepalen zij de pupilgrootte. Als de kringspiieren zich samentrekken, wordt de pupil kleiner. Als de straalsgewijs lopende spieren zich samentrekken, wordt de pupil groter. Het groter of kleiner worden van de pupil heeft geen invloed op het oppervlak van het netvlies dat wordt geprikkeld.

► PRACTICUMOPDRACHT 1

► **Afb. 18** De pupilreflex.



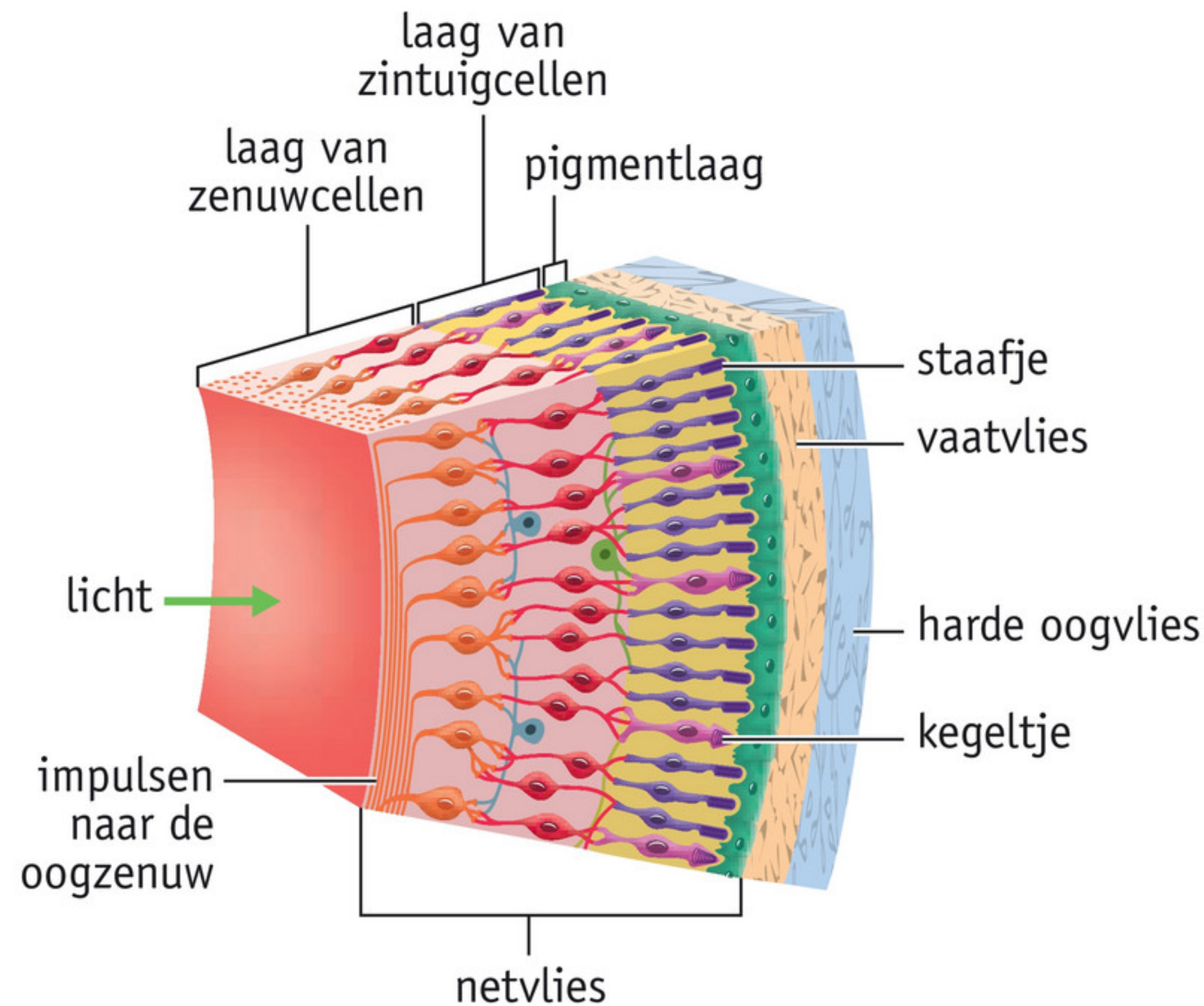
opdrachten

- 20 Via welk deel van het centrale zenuwstelsel verloopt de reflexboog van de pupilreflex?
- 21 Iriscopisten beweren dat zij afwijkingen en ziekten bij de mens kunnen terugvinden in de vorm, de kleur en de bouw van de iris. Een iriscopist wil de iris van iemand bekijken.
Kan hij dan het best fel licht of zwak licht op het oog laten vallen? Leg je antwoord uit.
- 22 Als binnenshuis een foto met behulp van flitslicht wordt gemaakt, hebben de mensen op de afdruk vaak rode ogen.
- Hoe komt dat?
 - Sommige fototoestellen geven vlak voor het maken van de opname een extra flits. Daarna wordt nogmaals geflitst en gelijktijdig de foto gemaakt. Leg uit waardoor er dan minder kans is dat de ogen op de foto er rood uitzien.

DE BOUW EN WERKING VAN HET NETVLIES

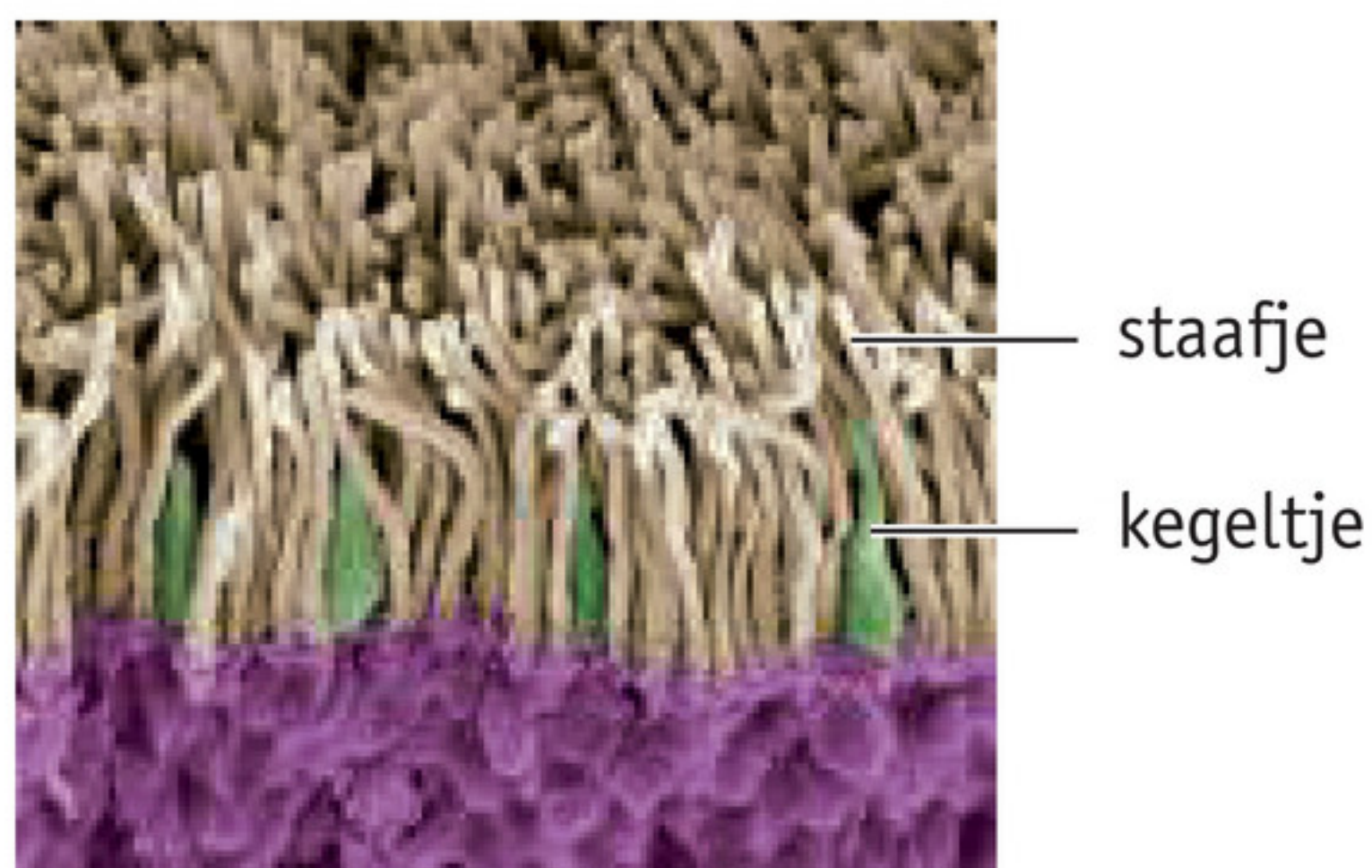
In afbeelding 19 is een doorsnede van een deel van de wand van een oog getekend op de plaats van de gele vlek. Vanaf het glasachtig lichaam bestaat het netvlies uit een laag neuronen, een laag lichtreceptoren (gezichtszintuigcellen) en een laag pigmentcellen. De laag pigmentcellen ligt tegen het vaatvlies aan. Het pigment absorbeert licht en beschermt de zintuigcellen zo tegen te sterke lichtprikkelers.

► **Afb. 19** Deel van de oogwand bij de gele vlek (schematisch).



Het lichtgevoelige deel van de zintuigcellen ligt tegen de donkere pigmentlaag aan. Licht dat een oog binnenvalt, gaat in het netvlies eerst door de laag neuronen heen voordat het de lichtreceptoren bereikt. De neuronen en lichtreceptoren zijn transparant. De impulsen die in de lichtreceptoren ontstaan, worden naar de neuronen geleid. Uitlopers van de neuronen verlaten het oog via de oogzenuw. In de blinde vlek gaan de uitlopers door het netvlies, het vaatvlies en het harde oogvlies heen. Het netvlies wordt op deze plaats onderbroken en daarom liggen in de blinde vlek geen zintuigcellen.

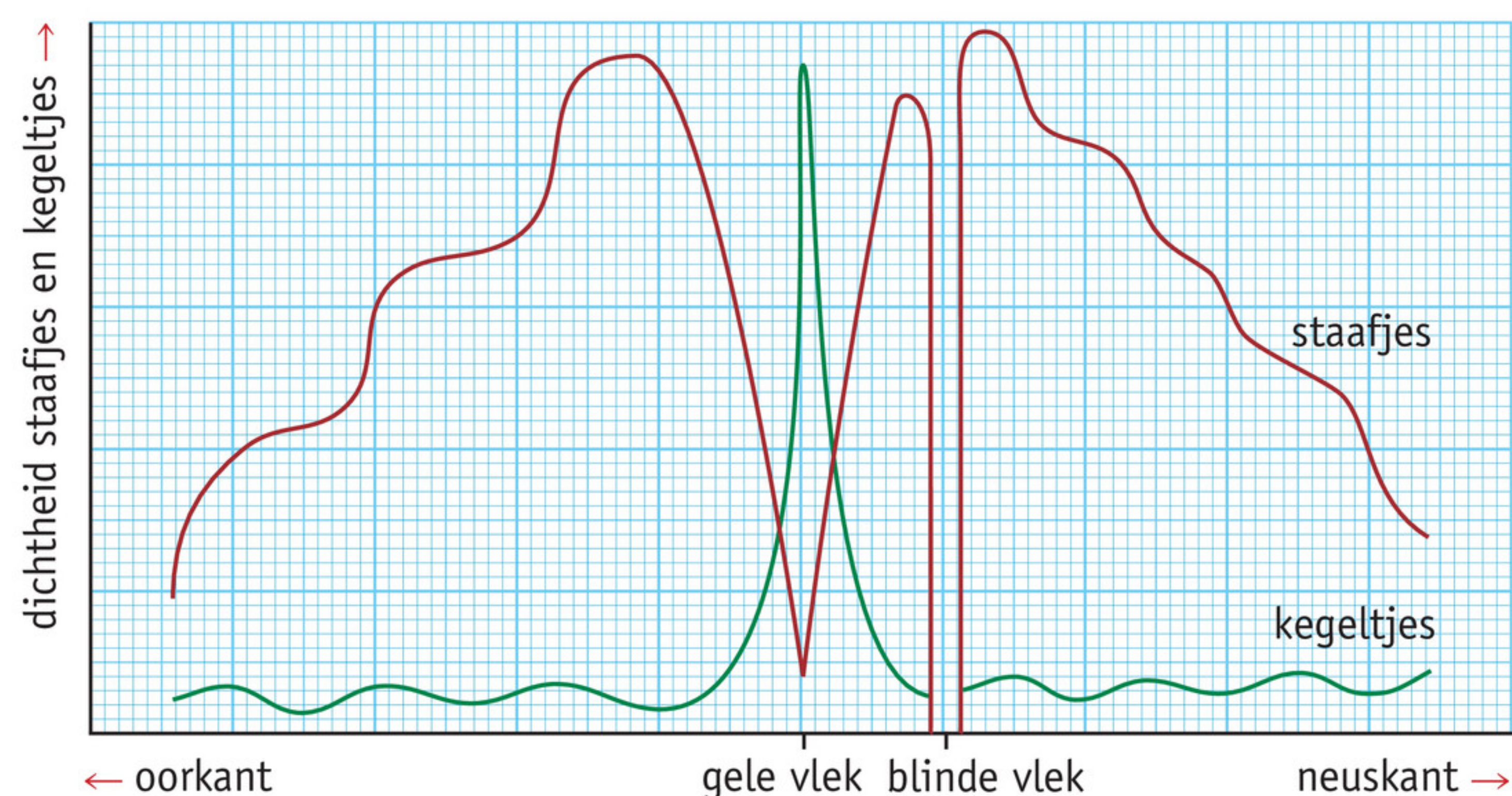
▼ **Afb. 20** Staafjes en kegeltjes in het netvlies (SEM, 1800×).



CONTRASTEN EN KLEUREN

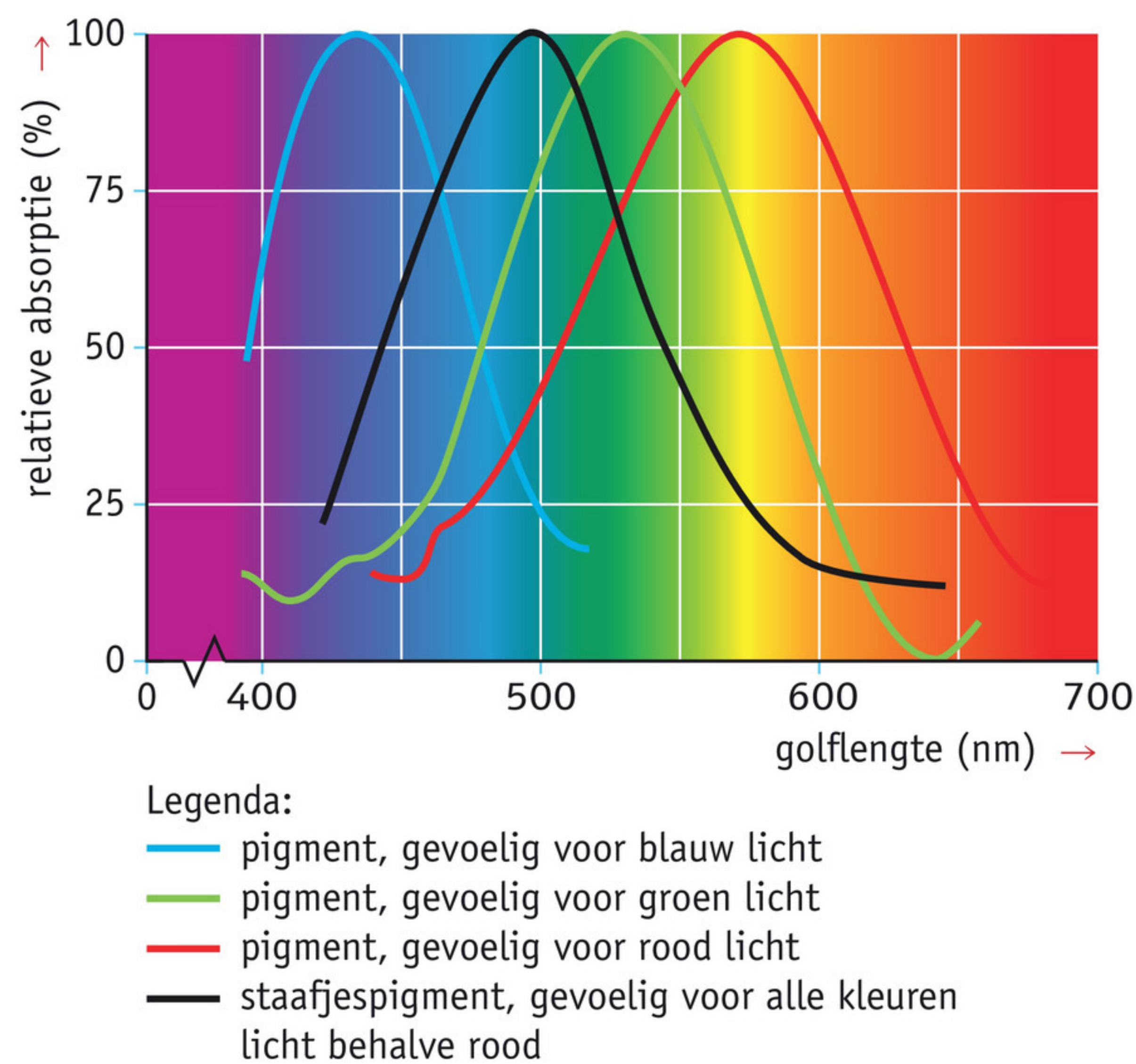
In het netvlies liggen twee soorten lichtreceptoren die vanwege hun vorm staafjes en kegeltjes heten (zie afbeelding 20). De lichtreceptoren bestaan voor 95% uit **staafjes**. De staafjes liggen verspreid over het hele netvlies, maar nauwelijks in de gele vlek en helemaal niet in de blinde vlek (zie afbeelding 21). De staafjes hebben een lage prikkeldrempel voor licht. Ze zijn gevoelig voor bijna alle kleuren licht, maar vrijwel ongevoelig voor rood licht. Je kunt met staafjes alleen contrasten waarnemen in zwart-grijs-wit.

► **Afb. 21** De verdeling van staafjes en kegeltjes over het netvlies.

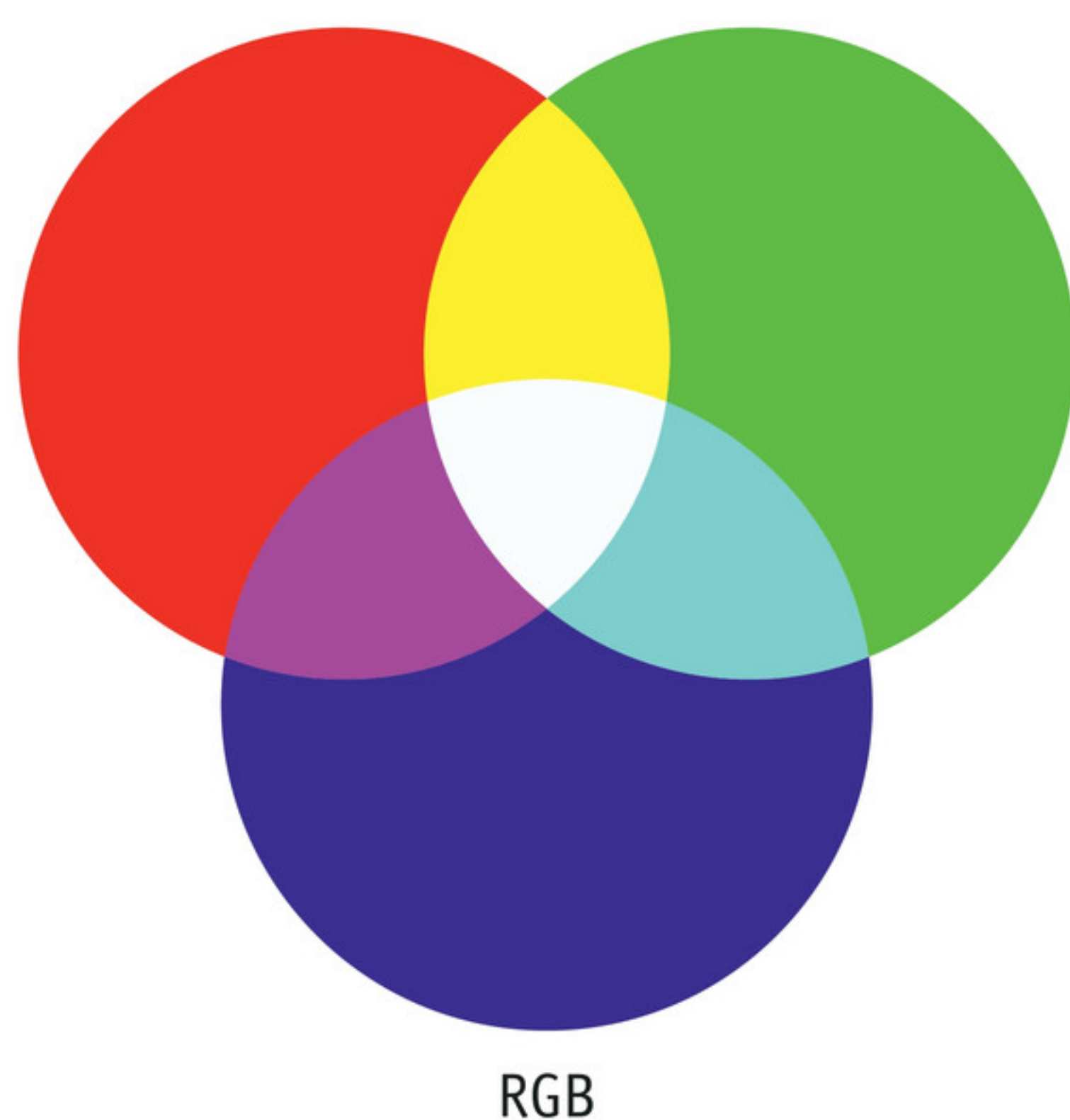


Kegeltjes hebben een hogere prikkelrempel dan staafjes. Met kegeltjes kun je kleuren en details waarnemen. Er zijn drie typen kegeltjes die elk gevoelig zijn voor een andere kleur licht. Eén type is gevoelig voor rood licht, een ander type voor groen licht en het derde type voor blauw licht. De drie typen kegeltjes bevatten elk een ander lichtgevoelig pigment. De gevoeligheid van deze pigmenten voor de verschillende golflengten van het licht is in afbeelding 22 weergegeven. Kegeltjes liggen vooral in de gele vlek en de directe omgeving daarvan. Met dit deel van het netvlies kun je het scherpst zien. Aan de rand van het netvlies komen minder kegeltjes voor.

► **Afb. 22** Absorptiespectra van kegeltjes en staafjes.



▼ **Afb. 23** Rood-groen-blauw-kleurenvorming.



Doordat de drie typen kegeltjes in verschillende mate tegelijkertijd kunnen worden geprikkeld, kun je veel verschillende kleuren zien. Dit is vergelijkbaar met de vorming van kleuren op een beeldscherm (zie afbeelding 23). Wanneer de drie typen even sterk worden geprikkeld, neem je wit licht waar.

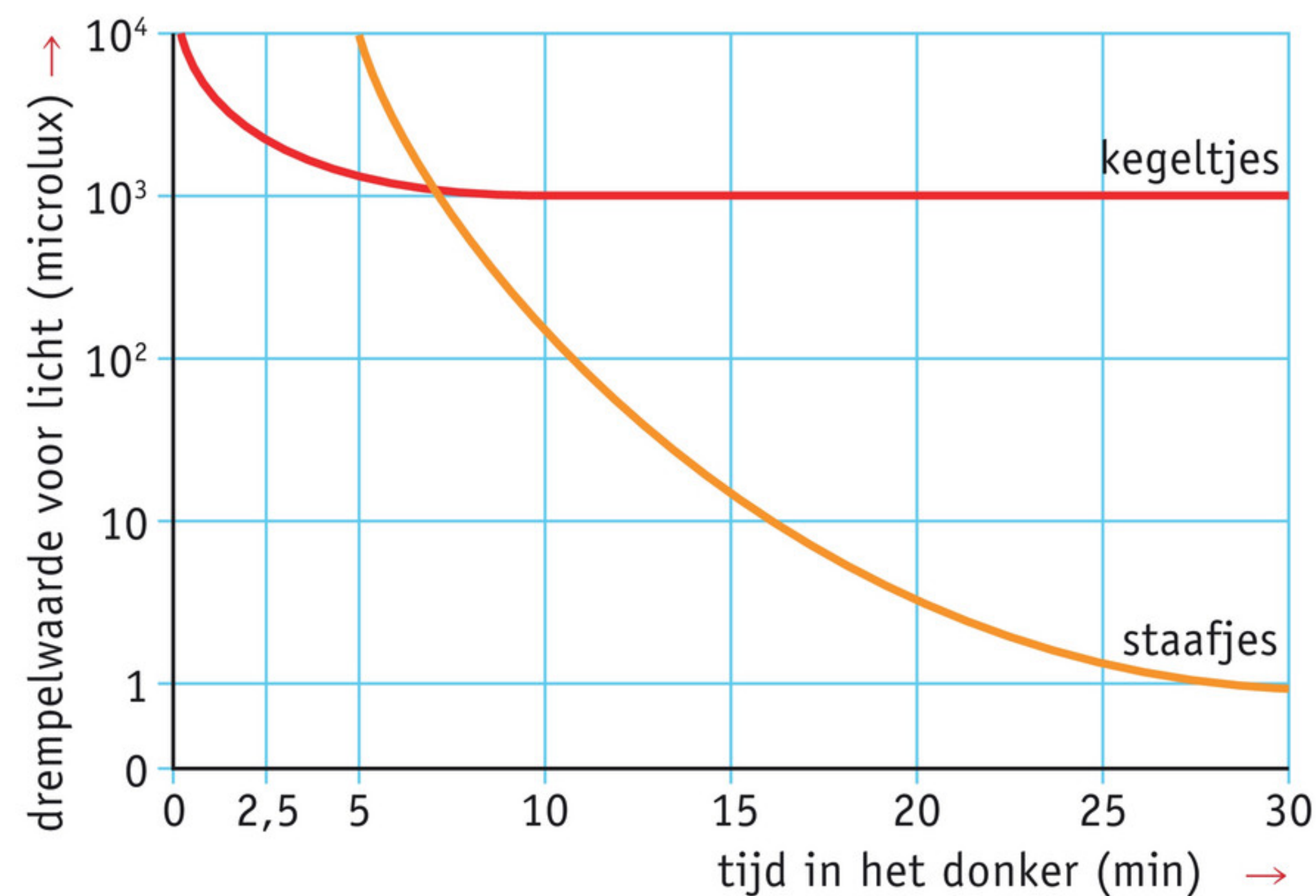
Staaftjes en kegeltjes staan via synapsen in contact met neuronen. De cellichamen van deze neuronen liggen in het netvlies. De impulsen van elk kegeltje worden apart doorgegeven aan één neuron. De impulsen van vele kegeltjes worden daardoor in het gezichtscentrum vertaald in een gedetailleerd en scherp beeld. Bij staaftjes worden de impulsen van zo'n vijftig tot honderd staaftjes aan één neuron doorgegeven. De beeldvorming van staaftjes is daardoor minder scherp dan bij kegeltjes.

ZIEN IN HET DONKER

Als je vanuit een fel verlichte kamer een vrijwel donkere ruimte ingaat, zie je eerst niets. De prikkelrempel van lichtreceptoren voor lichtprikkelers is hoog. Langzaam wennen je ogen aan het donker en kun je weer dingen waarnemen. De prikkelrempel is gedaald. Dit verschijnsel heet **donkeradaptatie** (zie afbeelding 24). Hoe goed je kunt zien in het schemerdonker hangt af van hoe goed de staaftjes werken. De staaftjes zijn voor blauwgroen licht (bij 500 nm) veel gevoeliger dan kegeltjes. Het duurt ongeveer een halfuur voordat de staaftjes hun minimale prikkelrempel hebben bereikt.

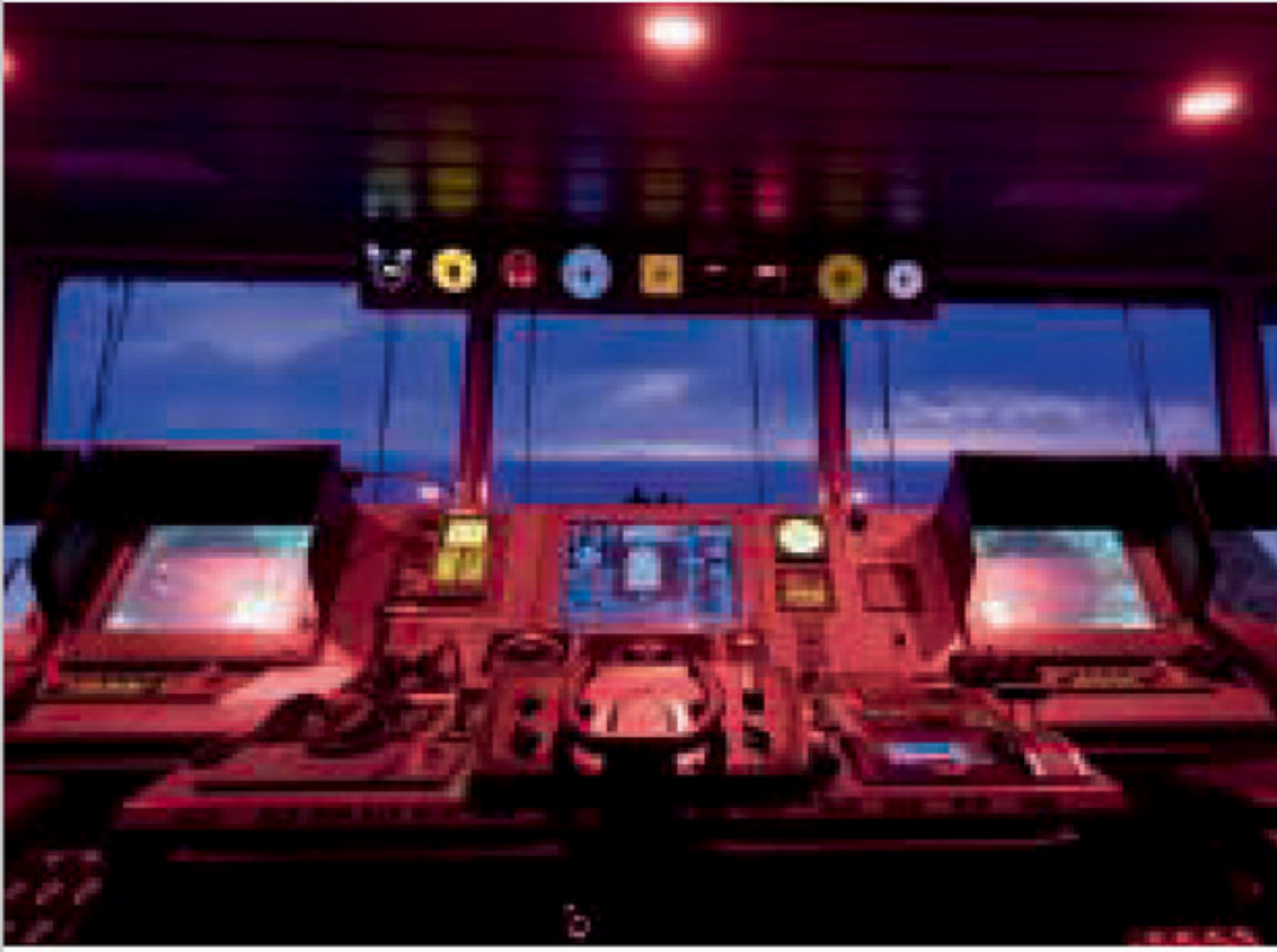
Wanneer je last hebt van **nachtblindheid** wennen de staafjes langzamer aan het donker. Je hebt dan meer licht nodig om goed te kunnen zien. Lichtadaptatie gaat veel sneller dan donkeradaptatie. Bij rood licht (boven 650 nm) zijn staafjes even gevoelig als kegeltjes.

► **Afb. 24** Donkeradaptatie.



opdrachten

- 23 In de gele vlek komen vrijwel alleen kegeltjes voor.
 - a Waardoor neem je in de gele vlek het scherpste beeld waar?
 - b Hoe nemen mensen groen licht waar dat door staafjes wordt geabsorbeerd? Leg je antwoord uit.
- 24 Albino's hebben heel weinig pigment in de pigmentlaag van hun netvlies. Welke gevolgen kan dit hebben voor de lichtreceptoren?
- 25 Veel nachtdieren hebben alleen staafjes in het netvlies.
 - a Welk voordeel heeft dit voor deze dieren?
 - b Het ontbreken van kegeltjes in het netvlies heeft ook nadelen. Noteer één nadeel.
 - c Als je 's nachts naar een zwakke ster wilt kijken, kun je deze het best zien door ernaast te kijken. Als je recht naar zo'n zwakke ster kijkt, zie je hem niet meer. Leg uit hoe dit komt. Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 87C).
- 26 Ook inktvissen hebben in het netvlies een laag neuronen en een laag zintuigcellen. Bij inktvissen ligt de laag zintuigcellen tegen het glasachtig lichaam aan en de laag neuronen tegen het vaatvlies. Leg uit dat daardoor in het oog van een inktvis geen blinde vlek voorkomt.
- 27 a In afbeelding 22 zie je de absorptiespectra van staafjes en kegeltjes bij verschillende golflengten. Voor welke kleur licht zijn de staafjes het minst gevoelig; voor blauw, groen of rood licht?
 - b In afbeelding 24 is weergegeven hoe de prikkeldrempel van staafjes en van kegeltjes verandert bij donkeradaptatie. Bij welk type zintuigcellen vindt donkeradaptatie het snelst plaats: bij kegeltjes of bij staafjes?
 - c Hoeveel keer gevoeliger voor licht zijn de staafjes maximaal in vergelijking met de kegeltjes?

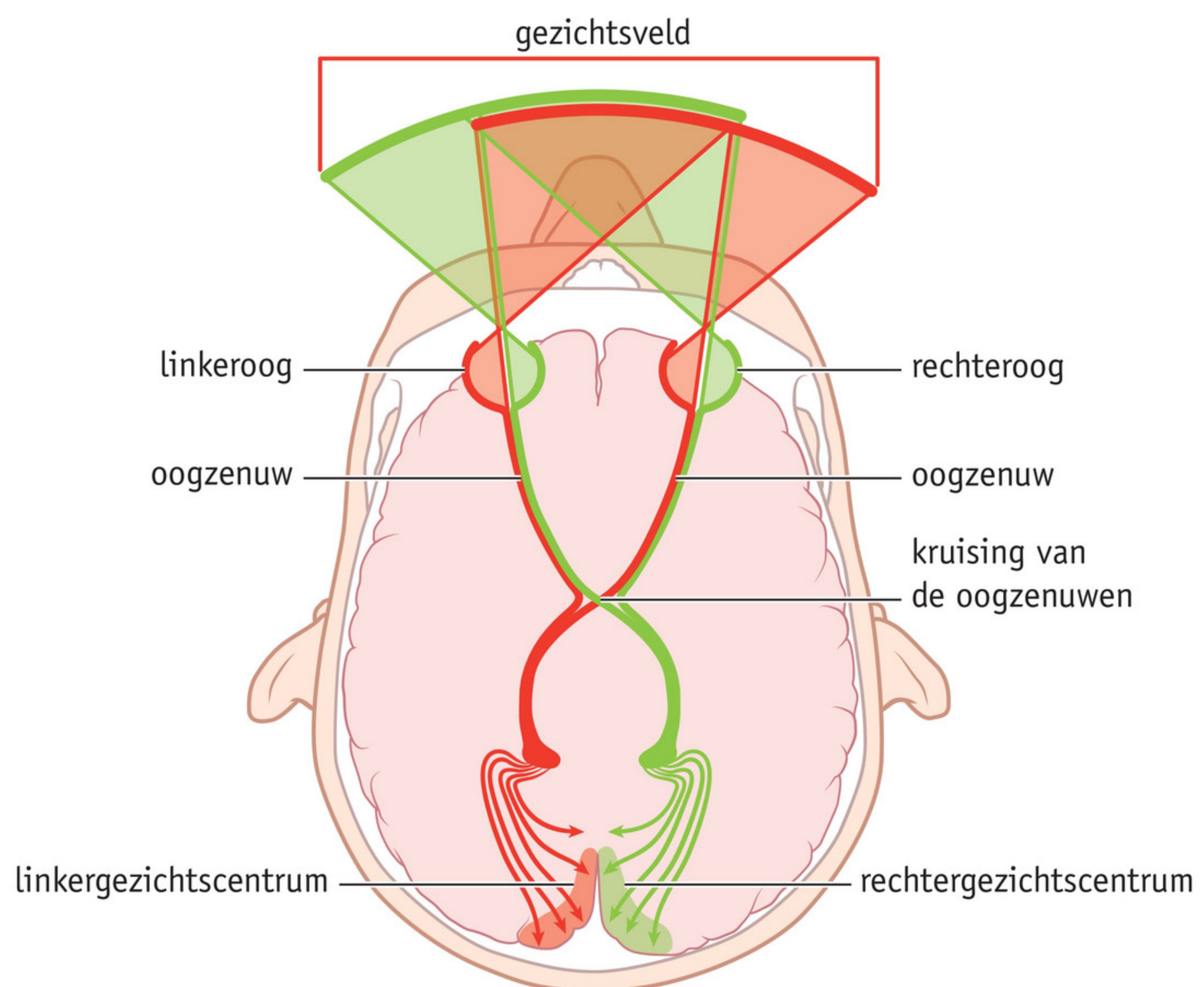
▼ **Afb. 25** Stuurhuis van een schip.► **Afb. 26** De oogzenuwbanen en de gezichtscentra (schematisch).

- 28 a** Welk type zintuigcellen is na volledige adaptatie het gevoeligst voor licht?
b Het stuurhuis van een modern schip wordt 's nachts rood verlicht (zie afbeelding 25).
 Geef daarvoor een verklaring.

STEREOSCOPIE

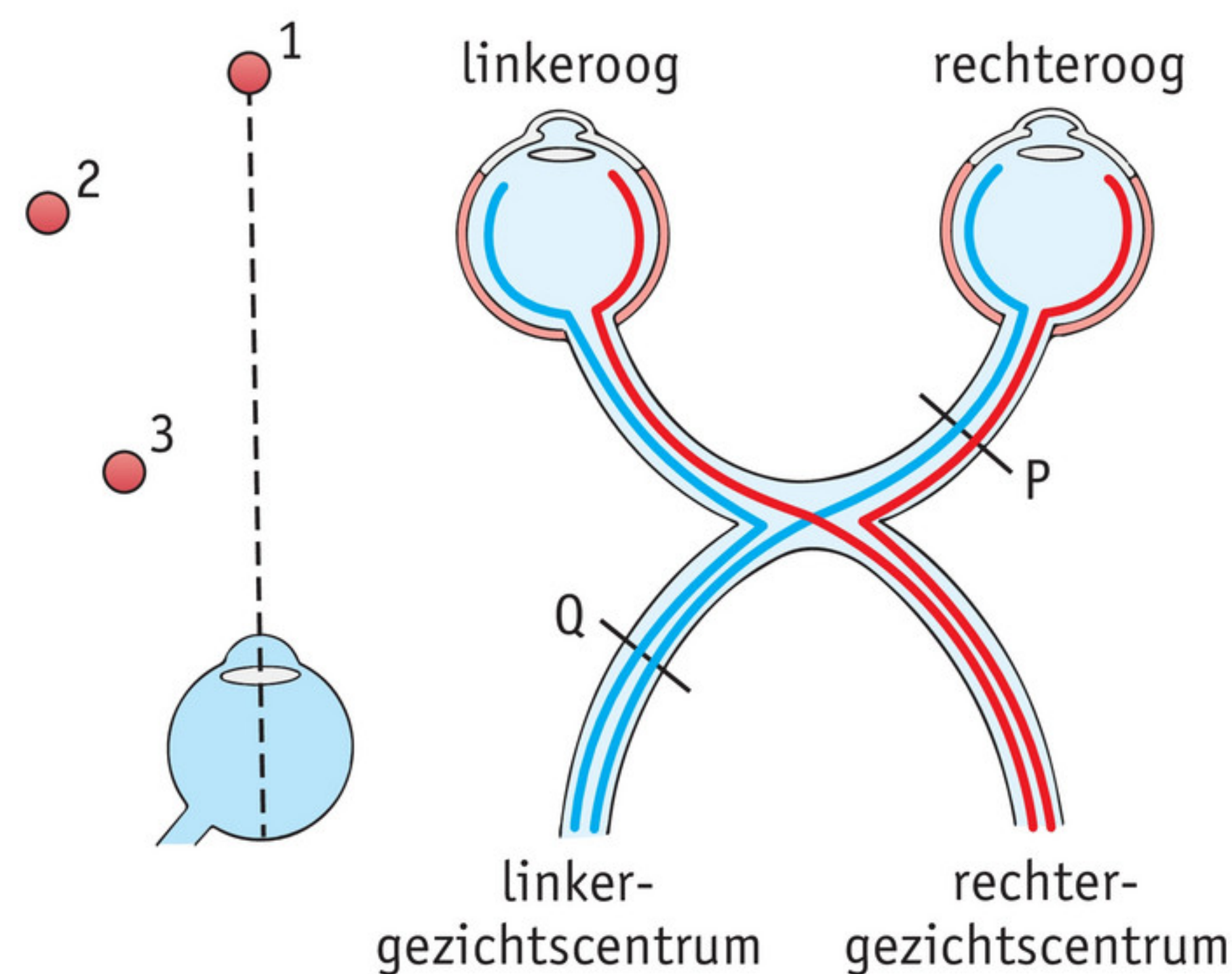
Als je naar een voorwerp kijkt, valt het beeld hiervan op het netvlies van het linkeroog en het rechteroog. Met je linkeroog bekijk je het voorwerp uit een iets andere hoek dan met je rechteroog.

Net boven de hypothalamus kruisen de uitlopers in beide oogzenuwen elkaar gedeeltelijk (zie afbeelding 26). Deze kruising heet het **optisch chiasma**. Impulsen van het linkergedeelte van het netvlies van beide ogen (die prikkels uit het rechtergedeelte van het gezichtsveld opvangen) gaan naar het linkergezichtscentrum. Impulsen van het rechtergedeelte van beide ogen (die prikkels uit het linkergedeelte van het gezichtsveld opvangen) gaan naar het rechtergezichtscentrum. De gezichtscentra vergelijken de beelden van beide ogen met elkaar en verwerken het tot één beeld. Het verschil tussen beide beelden levert informatie over de afstand waarop een voorwerp zich bevindt. Het verschil in beelden is groter naarmate het voorwerp dichterbij is. Hierdoor kun je beter diepte zien (**stereoscopie**) en afstanden schatten.

**opdracht**

- 29** Een proefpersoon bevindt zich in een donkere ruimte. In het gezichtsveld van zijn rechteroog bevinden zich drie felrode punten (zie afbeelding 27). Deze lichtpunten veroorzaken impulsen. De proefpersoon kijkt naar punt 1 en houdt het linkeroog gesloten.
- a** Ontstaan in het linkerdeel van het netvlies van zijn rechteroog impulsen? En in het rechterdeel van het netvlies van dit oog?
- b** Welk deel van het gezichtsveld zou deze persoon niet meer waarnemen als de oogzenuw op plaats Q wordt doorgesneden?
- c** Wat is het gevolg als de oogzenuw op plaats P wordt doorgesneden?

- **Afb. 27** Een proefpersoon in een donkere ruimte (schematisch).

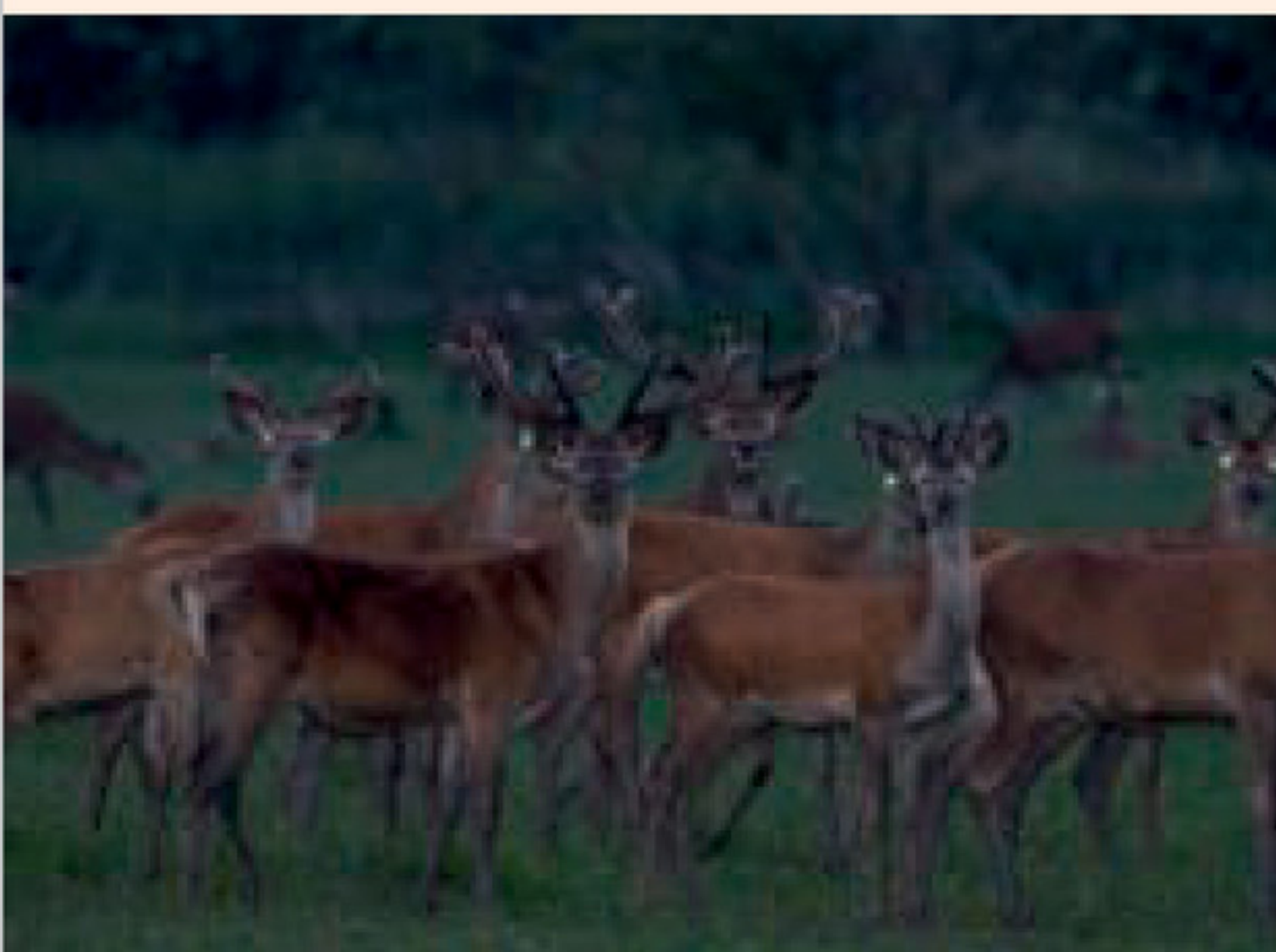


CONTEXT

Leefwereld

Nachtkijkers

- ▼ **Afb. 28** Oogreflectie in het donker.



Reddingswerkers gebruiken nachtkijkers om in het donker beter te kunnen zien. Nachtdieren hebben geen technische hulpmiddelen nodig. Zij hebben aangepaste ogen waarmee ze 's nachts veel beter kunnen zien dan mensen. Ogen van nachtdieren, zoals katten, reflecteren licht in het donker, wanneer licht van een kop- of zaklamp in hun ogen terechtkomt. Door de reflecterende laag komt het schaarse nachtlucht twee keer langs de lichtreceptoren. Katten- en hondenogen reflecteren opvallend groen in het donker. Ook roofdieren zoals uilen en alligators hebben reflecterende ogen in het donker. Uilen hebben daarnaast een groot hoornvlies, grote pupillen en een groot netvlies. De grote ogen kunnen niet draaien in de kleine schedel. Net als bij andere nachtdieren bevat het vergrote netvlies van de uil vooral staafjes. Zij zien daardoor 's nachts eerder bewegingen en diepte maar minder scherp en minder kleuren dan mensen.

opdrachten

- 30 Vergelijk de reflecterende laag met het netvlies bij de mens.
- Waar ligt de reflecterende laag?
 - Overdag hebben nachtdieren vaak erg kleine pupillen. Wat is daarvan de functie?
 - Wat is de functie van nachtzicht voor planteneters zoals reeën?
 - Verklaar hoe in de natuur deze vormen van nachtzicht kunnen zijn ontstaan.
 - Zijn 'reflecterende lagen' bij wolven en bij runderen analoog of homolog?
- 31 Verschillende soorten nachtdieren zijn met behulp van een zaklantaarn herkenbaar voor jagers en natuurliefhebbers.
- Hoe kun je dit verklaren?
 - Waarom is het voor uilen noodzakelijk om 270 graden te kunnen draaien met hun kop om daarmee in verschillende richtingen te kunnen kijken?
 - Uilen vangen in het donker alleen maar grijze muizen. Hoe kun je dit verklaren?
- 32 Reddingswerkers gebruiken een door de mens ontwikkelde nachtkijker. Op welke manier komt het verbeterde nachtzicht tot stand bij nachtkijkers? Zoek dit uit voor verschillende nachtkijkers en gebruik hierbij bronnen op internet.



Leerdoelen

- Je kunt toelichten wat gedrag is en hoe gedrag is ingedeeld.
- Je kunt omschrijven wat ethologie inhoudt, hoe je gedrag kunt bestuderen en de invloed van gedragsonderzoek op de maatschappij toelichten.

3 Gedrag beschrijven

Krijg jij weleens opmerkingen over je gedrag? Je bent in de puberteit, de tijd om grenzen te verleggen en nieuwe dingen te ontdekken. Dit pubergedrag is niet voor iedereen even gemakkelijk. Maar wist je dat het biologisch gezien heel normaal gedrag is en dat muizen ook pubergedrag vertonen?

ETHOLOGIE

De tak van de biologie waarbij de studie van het gedrag van dieren centraal staat, is de **ethologie**. Ethologen zijn specialisten in het gedrag van dieren. Onder **gedrag** verstaan biologen alle waarneembare activiteiten van een dier of mens. Deze activiteiten bestaan niet alleen uit bewegingen. Andere voorbeelden van gedrag zijn: geluiden maken, slapen, van kleur veranderen, geurstoffen afscheiden en een lichaamshouding handhaven.

Hersenonderzoekers en biologen zoeken naar verklaringen voor het gedrag van mensen en dieren. Gedrag is vaak gericht op het handhaven of verbeteren van de fysiologische toestand of de omgevingssituatie van dieren en mensen. Bijvoorbeeld door te drinken wanneer ze dorst hebben of een nest te bouwen om in te leven. Daarvoor wisselen dieren voortdurend stoffen, energie en informatie uit met hun omgeving. De overlevingskansen en fitness van een dier worden vergroot wanneer het gedrag goed is aangepast aan de omstandigheden. Dit noem je **adequaat gedrag**.

VAN PRIKKEL TOT HANDELING

Gedrag is opgebouwd uit opeenvolgende **handelingen**, ook wel **gedragselementen** genoemd. Voedingsgedrag bestaat bijvoorbeeld uit voedsel zoeken en voedsel toe-eigenen voordat het wordt gegeten. Veel handelingen komen tot stand door de werking van spieren. Ook de werking van klieren kan gedrag zijn. Spieren en klieren zijn effectoren.

Bij de meeste handelingen reageert een dier of mens op prikkels. In zintuigcellen (receptoren) ontstaan onder invloed van deze prikkels impulsen. Neuronen (conductoren) geleiden impulsen die door het centrale zenuwstelsel worden verwerkt. Reacties van een dier of mens op prikkels noem je **respons**.

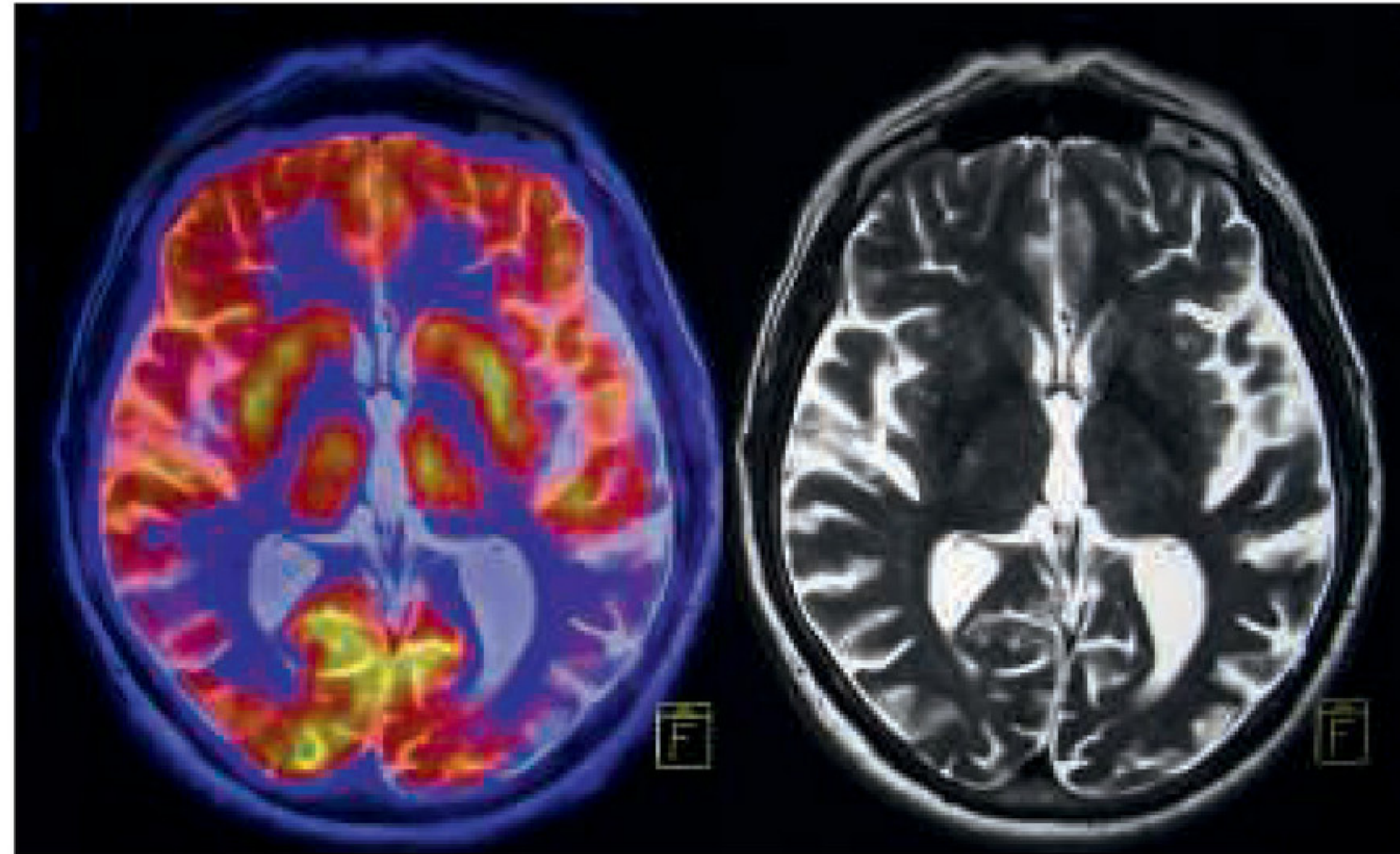
Een etholoog werkt met levende dieren en kan niet zien wat zich inwendig in een dier afspeelt. In afbeelding 29 is het inwendige van een dier voorgesteld als een rechthoek, waarbinnen een etholoog geen waarnemingen kan doen. De rechthoek noem je daarom ook wel de **black box**. Een etholoog verzamelt gegevens over de prikkels die aan een dier informatie verschaffen over het milieu (de input) en gegevens over hoe het dier hierop reageert (de output). Door de input en output te bestuderen probeert een etholoog conclusies te trekken over de processen die zich in een dier afspelen. Hierbij maakt de etholoog gebruik van kennis over het zintuigstelsel, het zenuwstelsel en het hormoonstelsel.

► **Afb. 29** Van prikkel tot respons.



Met behulp van MRI (Magnetic Resonance Imaging) proberen onderzoekers verband te leggen tussen gedrag en hersenactiviteit. MRI maakt de activiteit van hersendelen zichtbaar bij het uitvoeren van handelingen (zie afbeelding 30).

► **Afb. 30** MRI-scan van de hersenen.



opdrachten

- 33 Is in de volgende situaties sprake van gedrag?
- | | |
|--|----------|
| a Een jongen bloost als hij een meisje aankijkt. | ja / nee |
| b Een blad valt van een boom. | ja / nee |
| c Doornroosje ligt te slapen. | ja / nee |
- 34 Je maakt huiswerk.
Noteer drie opeenvolgende handelingen bij dit gedrag.
- 35 Een Siberische tijger in Dierentuin Artis heeft een man in zijn linkerarm gebeten. De man sluipt wel vaker de dierentuin binnen en treitert de dieren. Maandagavond trok hij de tijger aan zijn staart. Die nam dat niet en hapte de man in zijn arm.
- | |
|--|
| a Wat was de prikkel voor de reactie van de tijger? |
| b Wat was de reactie van de tijger? |
| c Kun je deze reactie van de tijger agressief noemen? Leg je antwoord uit. |
- 36 De afgelopen jaren heeft de MRI-scanner veel betekend voor de ethologie. Wat betekent de ontwikkeling van de MRI-scanner voor het beeld van het brein als een black box?

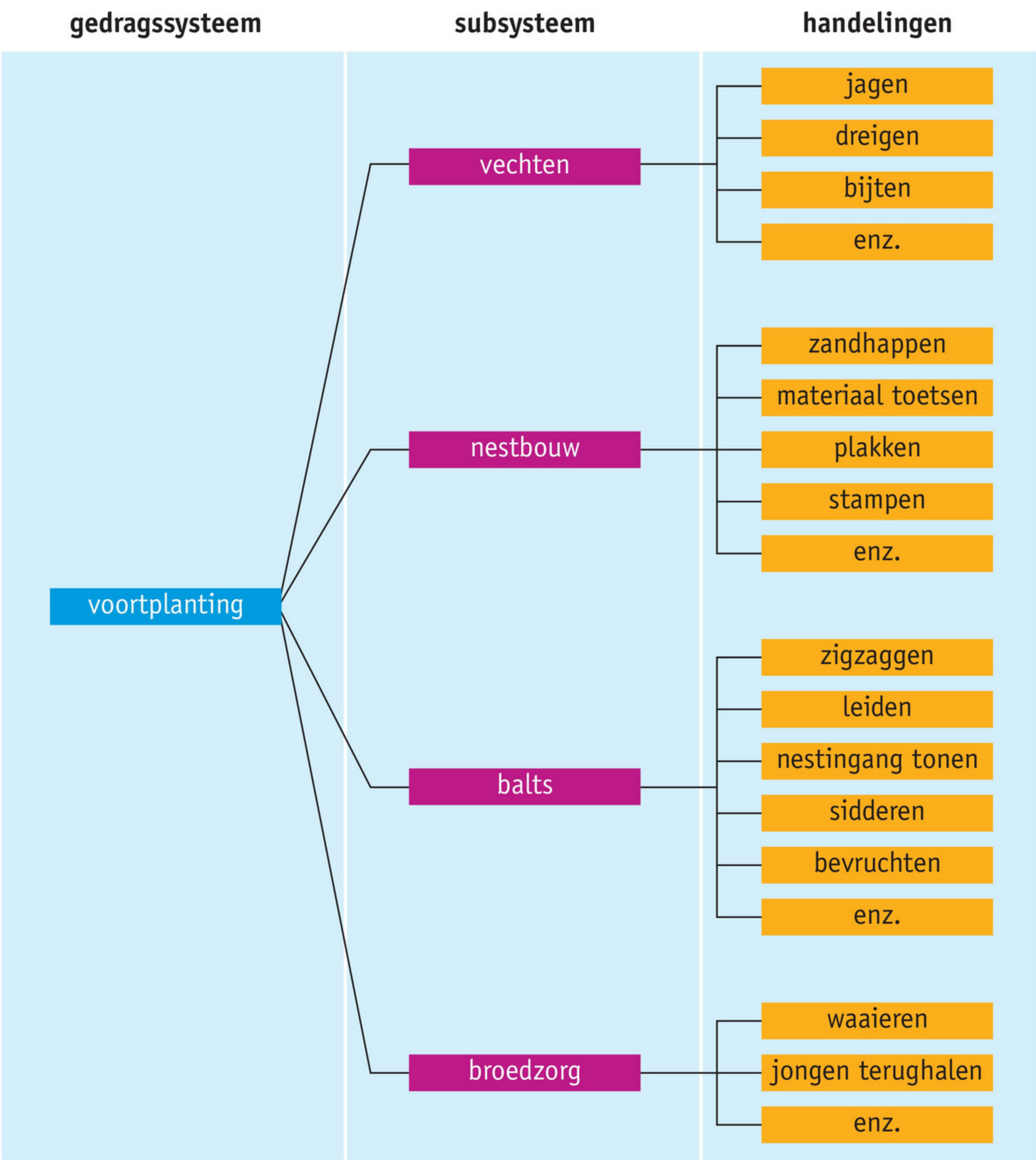
GEDRAGSSYSTEMEN

Gedrag is opgebouwd uit handelingen. Handelingen met een gemeenschappelijk doel vormen samen een **gedragssysteem**. Voedingsgedrag en voortplantingsgedrag zijn voorbeelden van gedragssystemen die bij dieren en mensen voorkomen. Gedragssystemen die alleen bij mensen voorkomen, zijn bijvoorbeeld kookgedrag en onderzoekgedrag. De handelingen in een gedragssysteem kunnen elkaar in een vaste volgorde opvolgen. Als het effect van de ene handeling leidt tot een volgende handeling, spreek je van een **gedragsketen**.

SUBSYSTEMEN

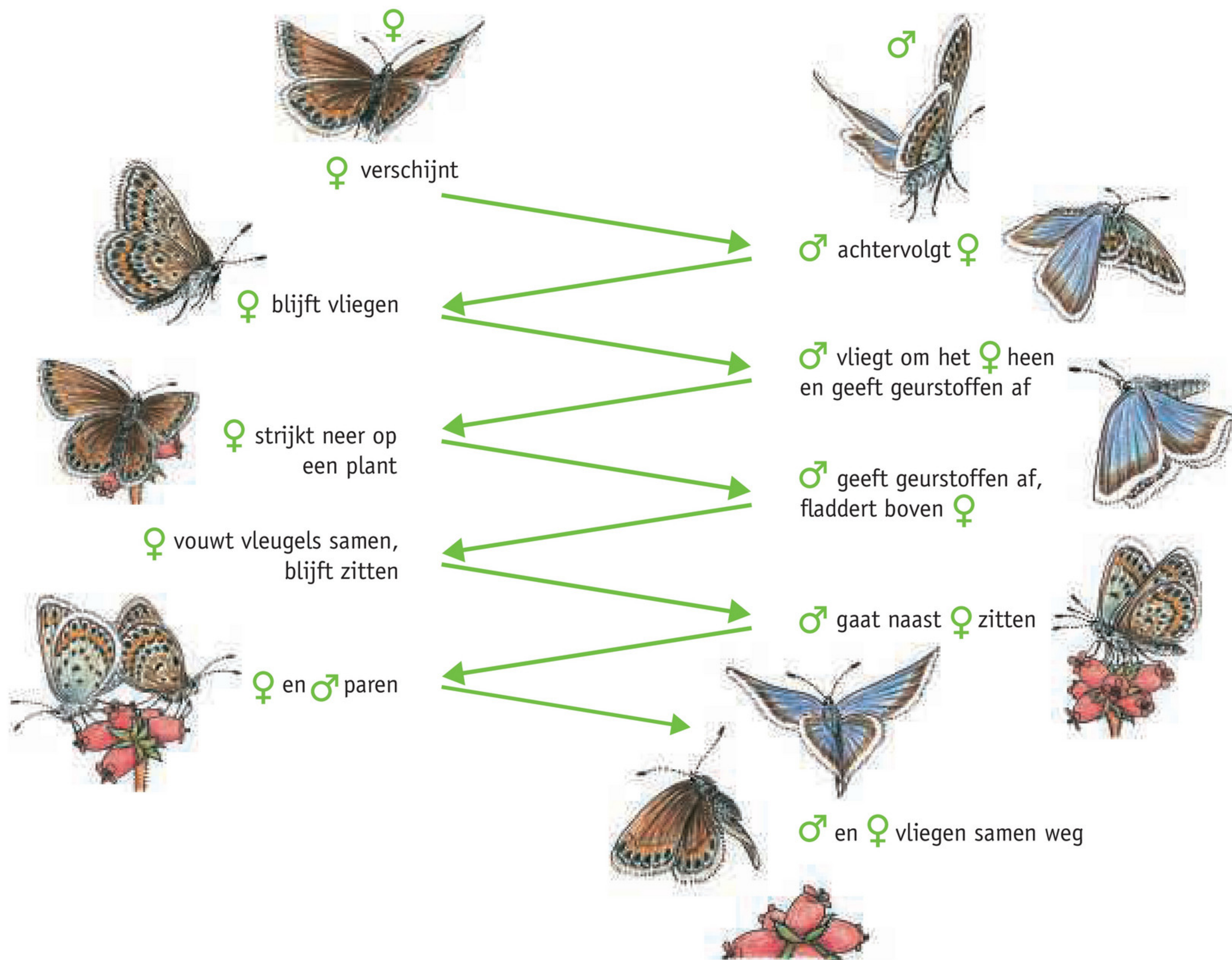
Balts is een onderdeel van voortplantingsgedrag en een voorbeeld van een gedragsketen. Een keten van handelingen tussen een mannetje en een vrouwtje leidt uiteindelijk tot bevruchting van de eieren. Een gedragssysteem kan bestaan uit meerdere gedragsketens. Het gedragssysteem voortplanting bij de stekelbaars bestaat uit vier samenhangende groepen van handelingen: de subsystemen (zie afbeelding 31).

Afb. 31 Ordening van baltshandelingen bij een stekelbaars.



Een subsysteem kan als geheel worden geactiveerd onder invloed van (interne en externe) prikkels. Een geslachtsrijp mannetje zal bijvoorbeeld tot balts overgaan als een vrouwtje zijn territorium binnenkomt. De mate waarin een subsysteem wordt geactiveerd, blijkt af te hangen van de fase in de voortplantingscyclus. In de nestbouwfase worden vrijwel uitsluitend vecht- en nestbouwhandelingen vertoond, in de baltsfase voornamelijk vecht- en baltshandelingen en in de broedzorgfase vooral broedzorghandelingen, maar ook vechthandelingen. Broedzorg is de zorg van ouderdieren voor nakomelingen. Ook insecten, zoals vlinders, voeren een balts uit. In afbeelding 32 is de balts van het heideblauwtje schematisch weergegeven.

▼ Afb. 32 De balts van het heideblauwtje.



ETHOGRAM EN PROTOCOL

Nauwkeurig waarnemen is een voorwaarde voor het begrijpen en beïnvloeden van gedrag. Bij de bestudering van gedrag maakt een etholoog een nauwkeurige beschrijving van elke handeling. Zo'n beschrijving moet objectief zijn.

Alleen waargenomen feiten mogen erin worden vermeld en geen meningen, waardeoordelen of interpretaties van de waarnemer.

Een voorbeeld: Een hond die met de staart kwispelt, kun je als volgt beschrijven: 'De hond beweegt de staart heen en weer.' Je kunt ook zeggen: 'De hond is blij.' De eerste beschrijving geeft een feit weer dat je hebt waargenomen. De tweede beschrijving is een interpretatie en geeft weer wat jij denkt over de reden van het waargenomen gedrag.

Een objectieve beschrijving van de verschillende handelingen die bij een diersoort kunnen voorkomen, heet een **ethogram**. Met behulp van een ethogram kun je het gedrag van een dier bestuderen. Je houdt dan bij hoe vaak en hoelang een dier elke handeling uitvoert. Deze gegevens geef je weer in een (handelings)protocol. Een **protocol** is een lijst van de achtereenvolgens waargenomen handelingen van het dier. Daarbij is het handig om afkortingen te gebruiken. In afbeelding 33 zie je een (beschrijvend) onderzoek naar het gedrag van een woestijnspringmuis (zie afbeelding 34) met een bijbehorend ethogram en een protocol.

▼ Afb. 33

ONDERZOEK		HET GEDRAG VAN EEN WOESTIJNSPRINGMUIS																																																																											
Inleiding	Een woestijnspringmuis vertoont handelingen die tot verschillende gedragssystemen kunnen behoren.																																																																												
Onderzoeksvraag																																																																													
Experiment	Een woestijnspringmuis wordt vijf minuten geobserveerd. Elke minuut wordt gedurende een halve minuut elke vijf seconden de uitgevoerde handeling door de muis genoteerd. De observaties worden weergegeven in een gedragsprotocol. De mogelijke handelingen van de muis worden eerst weergegeven in een ethogram.																																																																												
Resultaat	<table><tr><th></th><th>Handeling</th><th>Afk.</th><th>beschrijving</th></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>bijten</td><td>bij.</td><td>knagen aan materiaal anders dan voer</td></tr><tr><td></td><td>drinken</td><td>dr.</td><td>water oplikken uit flesje of bak</td></tr><tr><td></td><td>eten</td><td>et.</td><td>pakken van voer in de bek waarop een kauwende beweging volgt</td></tr><tr><td></td><td>graven</td><td>gr.</td><td>met de voorpoten in de grond heen en weer bewegen</td></tr><tr><td></td><td>hoogspieden</td><td>hs.</td><td>recht omhoog staan op de achterpoten</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> 1 deel van het ethogram <table><tr><th></th><th>1e minuut</th><th>2e minuut</th><th>3e minuut</th><th>4e minuut</th><th>5e minuut</th></tr><tr><td>0-5 s</td><td>sz.</td><td>gr.</td><td>et.</td><td>bij.</td><td>po.</td></tr><tr><td>6-10 s</td><td>sz.</td><td>gr.</td><td>et. dr.</td><td>bij.</td><td>po. ls.</td></tr><tr><td>11-15 s</td><td>sz.</td><td>gr. ls.</td><td>dr. et.</td><td>bij. ls.</td><td>ls. po.</td></tr><tr><td>16-20 s</td><td>sz.</td><td>gr. ls.</td><td>et.</td><td>sz.</td><td>sz.</td></tr><tr><td>21-25 s</td><td>sz. re.</td><td>gr.</td><td>et.</td><td>sz.</td><td>sz.</td></tr><tr><td>26-30 s</td><td>sz. dr.</td><td>gr.</td><td>ls. hs.</td><td>sz.</td><td>sz. sl.</td></tr></table> 2 deel van het protocol				Handeling	Afk.	beschrijving						bijten	bij.	knagen aan materiaal anders dan voer		drinken	dr.	water oplikken uit flesje of bak		eten	et.	pakken van voer in de bek waarop een kauwende beweging volgt		graven	gr.	met de voorpoten in de grond heen en weer bewegen		hoogspieden	hs.	recht omhoog staan op de achterpoten						1e minuut	2e minuut	3e minuut	4e minuut	5e minuut	0-5 s	sz.	gr.	et.	bij.	po.	6-10 s	sz.	gr.	et. dr.	bij.	po. ls.	11-15 s	sz.	gr. ls.	dr. et.	bij. ls.	ls. po.	16-20 s	sz.	gr. ls.	et.	sz.	sz.	21-25 s	sz. re.	gr.	et.	sz.	sz.	26-30 s	sz. dr.	gr.	ls. hs.	sz.	sz. sl.
	Handeling	Afk.	beschrijving																																																																										
	bijten	bij.	knagen aan materiaal anders dan voer																																																																										
	drinken	dr.	water oplikken uit flesje of bak																																																																										
	eten	et.	pakken van voer in de bek waarop een kauwende beweging volgt																																																																										
	graven	gr.	met de voorpoten in de grond heen en weer bewegen																																																																										
	hoogspieden	hs.	recht omhoog staan op de achterpoten																																																																										
	1e minuut	2e minuut	3e minuut	4e minuut	5e minuut																																																																								
0-5 s	sz.	gr.	et.	bij.	po.																																																																								
6-10 s	sz.	gr.	et. dr.	bij.	po. ls.																																																																								
11-15 s	sz.	gr. ls.	dr. et.	bij. ls.	ls. po.																																																																								
16-20 s	sz.	gr. ls.	et.	sz.	sz.																																																																								
21-25 s	sz. re.	gr.	et.	sz.	sz.																																																																								
26-30 s	sz. dr.	gr.	ls. hs.	sz.	sz. sl.																																																																								
Conclusie																																																																													

▼ Afb. 34 Een woestijnspringmuis.

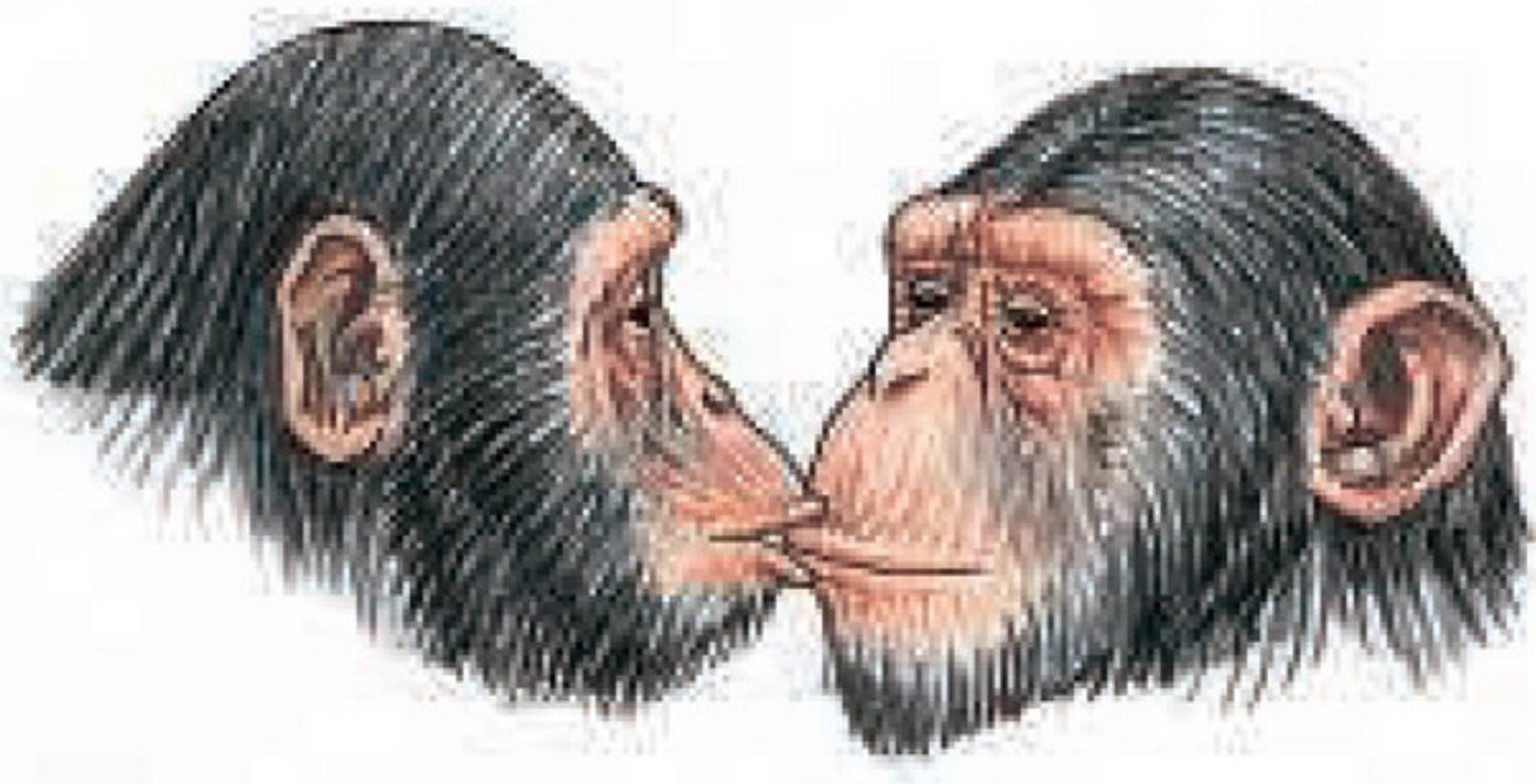


Met behulp van een protocol kun je onder andere de volgende vragen beantwoorden:

- Hoe vaak komt elke handeling voor?
- Hoelang duurt elke handeling?
- Is er een vaste volgorde tussen bepaalde handelingen?

Bij een beschrijvend gedragsonderzoek wordt de conclusie geformuleerd als het antwoord op de onderzoeksvraag. Ethologisch onderzoek kan ook hypothesetoetsend zijn, bijvoorbeeld wanneer je de invloed van een bepaalde prikkel op het gedrag onderzoekt.

► **Afb. 35** Een handeling van apen.



opdrachten

- 37 In afbeelding 33 zie je dat er afkortingen in het ethogram en protocol staan.
- Wat is het voordeel van het gebruik van afkortingen voor de handelingen?
 - Welke onderzoeksvragen zou je kunnen stellen bij dit onderzoek?
 - In afbeelding 35 zie je een handeling van apen. Een leerling zegt hierover: 'De apen kussen elkaar, omdat ze elkaar graag mogen.' Wat is een ethologisch correcte beschrijving van dit gedrag?
- 38 Vormt de balts bij stekelbaarsjes een gedragsketen (zie afbeelding 31)? Leg je antwoord uit.
- 39
- Vormen de opeenvolgende handelingen bij huiswerk maken een gedragssysteem? Leg je antwoord uit.
 - Wanneer jij huiswerk maakt, vormen de opeenvolgende handelingen bij jou dan een gedragsketen? Leg je antwoord uit.
- 40 In afbeelding 32 is de balts van het heideblauwtje afgebeeld.
- Stel de gedragsketen op van de balts van het vrouwtje van het heideblauwtje.
 - Welke functie heeft de afgifte van geurstoffen door het mannetje voor het gedrag van het vrouwtje?
 - Wat is de respons van het vrouwtje?
 - Welk subsysteem zal spoedig volgen op de paring?

►► PRACTICUMOPDRACHT 3

CONTEXT

Beroep

▼ **Afb. 36** Meer fitness met TeamAlert.



Bron: TeamAlert.

Project Kruispunt

Het risico op een ongeval is voor jongeren van 12 tot 18 jaar ongeveer drie keer groter dan voor de gemiddelde verkeersdeelnemer. Met het project Kruispunt wil TeamAlert leerlingen bewuster maken van de risico's die zij lopen in het verkeer. TeamAlert is een expert in jongerencommunicatie en gedragsverandering. Het team bestaat uit een groep van young professionals die met volle overgave jongeren uitdagen het meeste uit hun leven te halen: een veilig, gelukkig en gezond leven!

Uit onderzoek blijkt dat afleiding voorafgaat aan 80% van de fietsongevallen. In het project Kruispunt wordt op school een kruispunt nagebouwd en gaan leerlingen in vier groepen met elkaar de discussie aan. Tijdens het project geven de leerlingen hun mening over stellingen rondom verkeersgedrag. Bijvoorbeeld: Meisjes zijn veiliger in het verkeer dan jongens. Vervolgens volgt een debatronde. Na elke ronde is er een spel waarmee punten te verdienen zijn. De beste debater wint een prijs.

Uit onderzoek van TeamAlert blijkt dat leerlingen hierna meer kennis hebben over verkeersveiligheid en minder de intentie hebben om te sms'en, te appen of muziek te luisteren op de fiets.

Op de website van TeamAlert kun je zien op welke scholen projecten plaatsvinden.

Bron: <http://www.teamalert.nl>.

opdrachten

- 41**
- a** Noteer drie handelingen uit het gedragssysteem: verkeersgedrag op de fiets.
 - b** Welke gedragsverandering wordt beoogd door TeamAlert?
 - c** Is het beoogde verkeersgedrag een vorm van adequaat gedrag? Licht je antwoord toe.
 - d** Welke prikkels gebruikt TeamAlert in het project Kruispunt om gedragsverandering te bewerkstelligen?
 - e** Uit het onderzoek van TeamAlert blijkt dat Kruispunt succesvol de gedragsfactoren kennis en intentie beïnvloedt.
Is die invloed een verandering in de black box of een verandering van de output? Leg je antwoord uit.
- 42** TeamAlert heeft meerdere projecten lopen. Ga naar de website van TeamAlert en kies één project.
Wat is het doel, werkwijze en doelgroep van dit project?

Leerdoelen

- Je kunt toelichten dat gedrag deels erfelijk is bepaald.
- Je kunt de dynamische relatie beschrijven tussen een organisme en zijn omgeving.

4 Vorming van gedrag

Zoogdieren vinden al snel na de geboorte de weg naar de tepel van hun moeder. Dat is wonderlijk! Niemand heeft ze immers verteld hoe dat werkt.

INFORMATIE STUURT HET GEDRAG

Gedrag heeft verschillende vormen en functies. Daarbij spelen **erfelijke eigenschappen** (aangeboren) en aangeleerde eigenschappen (ervaring) een rol. Welke handeling een dier of mens op een bepaald moment uitvoert, hangt af van de interactie met zijn omgeving.

Interne prikkels geven bijvoorbeeld een jong zoogdier informatie over zijn voedingstoestand. Externe prikkels zorgen voor informatie over de aanwezigheid van een tepel met melk. De hersenen combineren actuele informatie over het interne en externe milieu met erfelijke en aangeleerde gedragsinformatie. Als respons kan het dier erfelijk of aangeleerd gedrag uitvoeren of vertoont het dier nieuw gedrag. Bij het jonge zoogdier zal de informatie leiden tot zuiggedrag. Zuigen en slikken zijn handelingen die de zuigeling als erfelijk informatie van zijn (voor)-ouders heeft meegekregen. Alleen door dit gedrag op de juiste wijze uit te voeren, zal dit zoogdier zich voeden, overleven en volwassen worden.

Gedrag is niet alleen afhankelijk van prikkels en erfelijke informatie. Ook de fysiologie, de anatomie (bouw) en de ontwikkelingsfase van het dier beïnvloeden het gedrag. Een ziek dier vertoont ander gedrag dan een gezond dier. En een rups kent geen zuiggedrag; een rups zal het blad eten van de plant waar zijn moeder de eitjes heeft afgezet. Tijdens de levensloop van een dier verandert het gedrag door ontwikkeling en leerprocessen. Zo ontwikkelen volwassen dieren hun eigen voedselvoorkeur.

Door een of meer handelingen van een dier verandert het interne en/of externe milieu van het dier, waarna een nieuwe handeling kan ontstaan. Dit is een vorm van terugkoppeling. De opeenvolgende handelingen vormen het gedrag. Gedrag bestaat zo uit een mengsel van aangeboren, aangeleerde en eventueel nieuwe handelingen (zie afbeelding 37) en zal zo goed mogelijk zijn aangepast aan de milieuomstandigheden. Dit adequate gedrag vergroot de overlevingskansen en fitness van het dier. Informatie over adequaat gedrag kan via DNA of door leerprocessen aan de nakomelingen worden doorgegeven. Door natuurlijke selectie kan de frequentie van adequaat gedrag in de populatie toenemen.

► **Afb. 37** Schema van factoren die bij de vorming van gedrag een rol spelen.

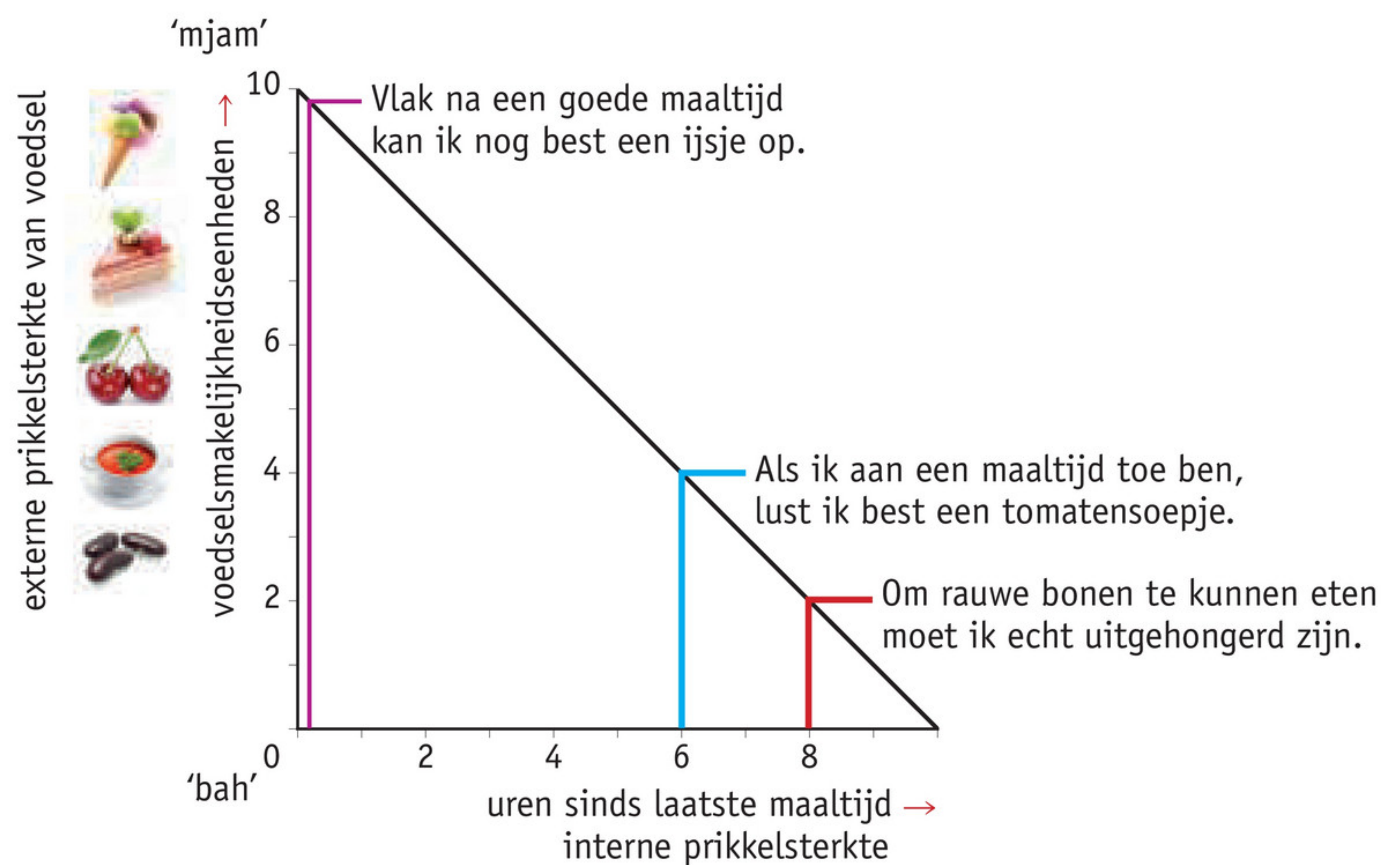


PRIKKELS EN MOTIVATIE

Dieren reageren op interne en externe prikkels. Het interne milieu van een dier streeft naar homeostase en dus naar normwaarden voor bijvoorbeeld de voedingstoestand, de vochttoestand en de temperatuur. De interne en externe prikkels bepalen grotendeels de motivatie en de kans dat een bepaald gedrag ontstaat.

Motivatie (drang) is de bereidheid om een bepaald gedragssysteem uit te voeren. Voorbeelden van motivatie zijn: voedingsdrang (honger en dorst), vluchtdrang (behoefte aan veiligheid) en voortplantingsdrang (paringsdrang, verzorgingsdrang). Motivaties voor verschillende gedragssystemen beïnvloeden elkaar. De motivatie om bepaald gedrag uit te voeren, wordt bepaald door de sterkte van interne en externe prikkels. Een zwakke interne prikkel in combinatie met een sterke externe prikkel kan toch voldoende motivatie teweegbrengen om een gedragssysteem in gang te zetten (zie afbeelding 38).

► **Afb. 38** Prikkelsterkte en voedingsgedrag.



VOEDINGSGEDRAG

Honger ontstaat doordat hormonen en zenuwen veranderingen over de voedingstoestand van het lichaam (interne prikkel) doorgeven aan de hersenen. Centra voor honger en dorst in de hersenstam verwerken deze gegevens. Het zien van lekker voedsel (externe prikkel) versterkt de motivatie voor voedingsgedrag (eetlust of voedingsdrang). Voordat je kunt gaan eten, moet je meestal een aantal voorbereidende handelingen verrichten. Het eten van het voedsel stimuleert in het begin je eetlust, later remt het je eetlust. Als je voldoende hebt gegeten, verdwijnen de honger en de motivatie, doordat zintuigen de verandering in je lichaam waarnemen. Je bent verzadigd en bovendien is de externe prikkel verdwenen.

Effectieve handelingen verminderen de prikkels en verzwakken uiteindelijk de motivatie. Een sterkere externe prikkel kan de motivatie voor voedingsgedrag weer doen toenemen.

PERIODIEKE INVLOEDEN

Regelmatig terugkerende schommelingen van prikkelsterkten in het interne of externe milieu noem je **periodieke invloeden**. Het zenuwstelsel en hormoonstelsel regelen de communicatie tussen de organen en de hersenen, en kunnen de motivatie beïnvloeden. Concentratieveranderingen van neurotransmitters in de hersenen veroorzaken een erfelijk slaap-waakritme.

Voortplantingsdrang komt voor een deel tot stand door de afgifte van hormonen. Een verandering van de concentratie van geslachtshormonen is een interne **voortplantingsprikkel**. Voor voortplantingsdrang zijn daarnaast externe prikkels noodzakelijk zoals de aanwezigheid van een nestplaats en een geschikte partner. De concentratie van de voortplantingshormonen verandert tijdens de levenscyclus. Dit leidt tot gedragsverandering in de puberteit en adolescentie. Het slaap-waakritme en veranderingen tijdens de levenscyclus volgen een erfelijk bepaalde **biologische klok**.

De hormoonspiegel kan ook veranderen onder invloed van maandelijkse of jaarlijkse cycli, bijvoorbeeld veranderingen in de daglengte of de temperatuur. Bij veel diersoorten heeft de daglengte invloed op de voortplantingsactiviteit. Bij vogels gaat de hypofyse onder invloed van de toenemende hoeveelheid licht in het voorjaar hormonen afgeven. Onder invloed van deze hypofysehormonen komen de geslachtsorganen tot ontwikkeling en produceren ze geslachtshormonen. De geslachtscellen rijpen en de secundaire geslachtskenmerken komen tot ontwikkeling. Onder invloed van de geslachtshormonen kan de motivatie voor voortplantingsgedrag toenemen. Mannetjes en vrouwtjes die geslachtsrijp zijn, vertonen baltsgedrag. In het najaar neemt de afgifte van hypofysehormonen weer af en krimpen de geslachtsorganen.

Ook bij verschillende soorten vissen, reptielen en zoogdieren speelt licht een rol bij de ontwikkeling van geslachtscellen en bij de totstandkoming van voortplantingsgedrag. Bij amfibieën worden deze processen mede beïnvloed door de temperatuur. Als in het voorjaar de temperatuur stijgt, vertonen amfibieën voortplantingsgedrag.

opdrachten

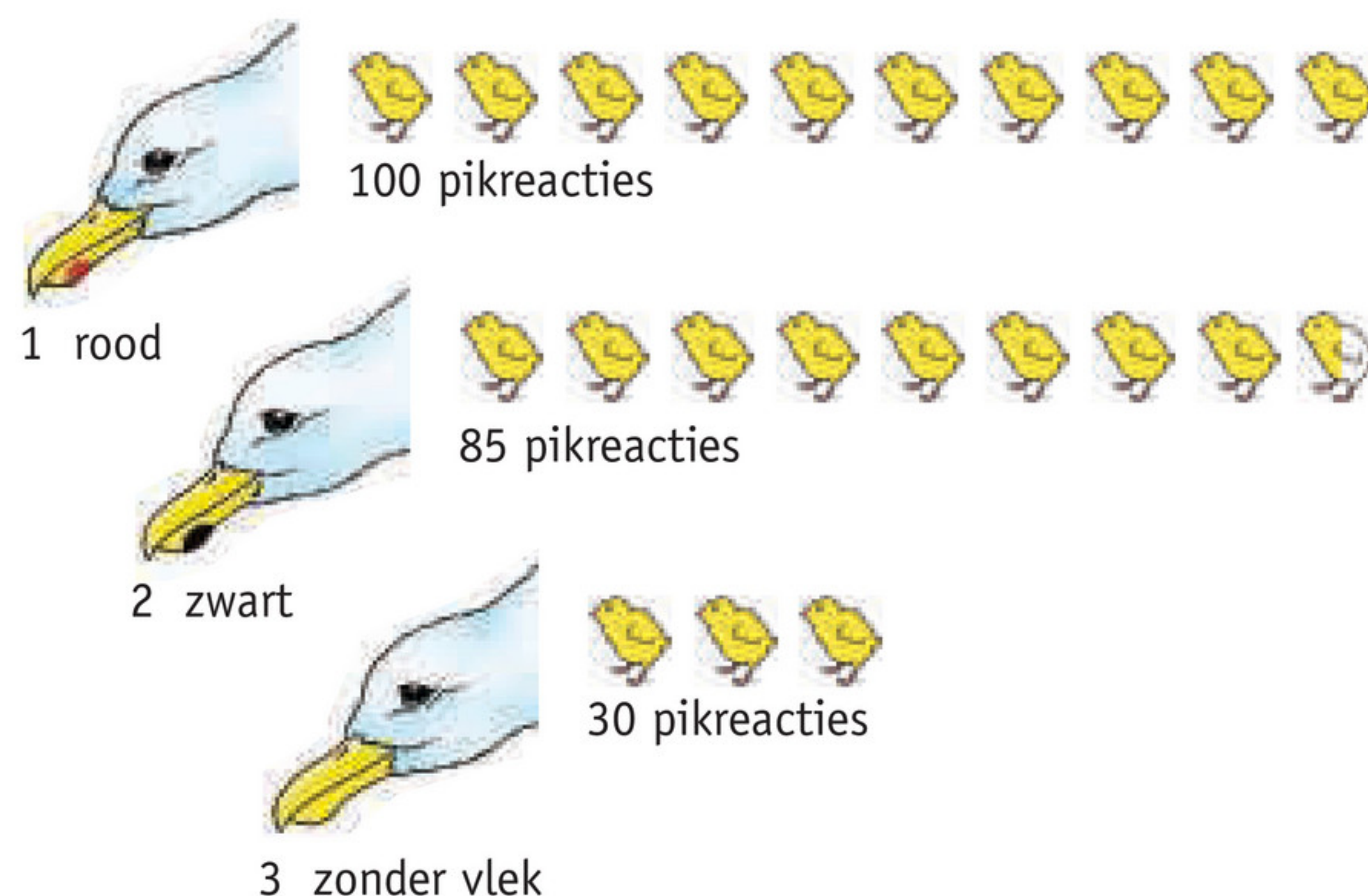
- 43 a** Op welke manier is erfelijke informatie over gedrag ‘opgeslagen’ in je lichaam?
- b** Op welke wijze is informatie over aangeleerd gedrag opgeslagen in je lichaam?
- 44** Wat is de motivatie voor de heideblauwtjes (zie afbeelding 32) om baltsgedrag te vertonen?
- 45** In afbeelding 38 zie je de invloed van de prikkelsterkte op het voedingsgedrag. Je hebt een behoorlijke hoeveelheid kersen gegeten en bent verzadigd. Een sterkere prikkel kan het voedingsgedrag weer doen toenemen.
- a** Welke sterkere prikkel wordt hier bedoeld?
- b** Een gezegde is: ‘Honger maakt rauwe bonen zoet’.
Leg met behulp van dit gezegde uit dat interne prikkels en externe prikkels beide van invloed zijn op motivatie en gedrag.
- c** Het Voedingscentrum adviseert om niet met een lege maag boodschappen te gaan doen.
Verklaar dit advies.
- d** De motivatie voor voedingsgedrag wordt geremd door het effect van voedingsgedrag.
Is dit een voorbeeld van negatieve terugkoppeling? Licht je antwoord toe.
- e** Je kunt honger (interne prikkel) hebben en toch geen eetlust (voedingsdrang).
Geef een voorbeeld van een interne prikkel en van een externe prikkel die je de eetlust kan ontnemen.

- 46 a Adequaat voedingsgedrag voor een topsporter is heel anders dan voor iemand die een zittend beroep heeft. Leg dit uit.
- b De winkelstraat is vol mensen, er klinkt mooie muziek en de panden hebben een fraaie architectuur. Je merkt daar weinig van, want het regent keihard en je wilt snel naar binnen.
Welk voordeel heeft het selecteren van belangrijke veranderingen (prikkel) in je omgeving?
- 47 Een kweker van vogels wil dat zijn vogels vroeger in het voorjaar eieren gaan leggen.
Wat zou de kweker kunnen doen om dit voor elkaar te krijgen? Leg je antwoord uit.

SLEUTELPRIKKELS EN SUPRANORMALE PRIKKELS

De etholoog Niko Tinbergen deed onderzoek naar de invloed van bepaalde prikkels op het gedrag van meeuwenjongen. Het viel hem op dat een meeuw voedsel opbraakt voor een jong, wanneer het jong naar de rode vlek op de snavel van de ouder pikt. Uit onderzoek blijkt dat hongerige meeuwenjongen ook naar de rode snavelvlek op een model van de kop van een meeuw pikken (zie afbeelding 39). Naar een model met een zwarte snavelvlek pikken ze minder vaak en naar een model zonder snavelvlek pikken ze vrijwel niet. Blijkbaar veroorzaakt de rode vlek een sterkere motivatie voor het pikgedrag dan de kop van de meeuw. Een prikkel die een doorslaggevende rol speelt bij het ontstaan van bepaald gedrag, noem je een **sleutelprikkel**. De rode snavelvlek is een sleutelprikkel voor het pikgedrag van meeuwenjongen. Door sleutelprikkel komt erfelijk gedrag tot uiting.

- **Afb. 39** Een rode snavelvlek is de sleutelprikkel voor het pikgedrag van meeuwenjongen.



Aan meeuwenjongen werd ook een volledig rode snavel aangeboden. Hier pikten de meeuwenjongen nog vaker naar dan naar een gele snavel met een rode vlek (zie afbeelding 40). Ook uit andere experimenten blijkt dat bepaalde prikkels een sterkere motivatie en grotere kans op respons opwekken dan de gewone sleutelprikkel. Je noemt een dergelijke prikkel een **supranormale prikkel** (onweerstaanbare prikkel).

- **Afb. 40** Een rode snavel is een supranormale prikkel.



De respons op sleutelprikkel is gebaseerd op erfelijke informatie en is voorspelbaar. Andere dieren of mensen kunnen deze voorspelbaarheid van de erfelijke respons handig gebruiken. Het vrouwtje van de koekoek legt haar eieren in het nest van een andere vogel die ze vervolgens uitbroedt. Voor de andere vogel is het zien van het grotere koekoeksei een supranormale prikkel voor het broedgedrag.

opdrachten

- 48 a** Een potlood met een rode vlek (zie afbeelding 41) blijkt bij meeuwenjongen een sterker pikgedrag op te wekken dan een model met een rode snavelvlek. Het zien van zo'n potlood kun je zowel een sleutelprikkel als een supranormale prikkel noemen. Leg dit uit.



- **Afb. 41** Het zien van zo'n potlood kan zowel een sleutelprikkel als een supranormale prikkel zijn.

- ▼ **Afb. 42** Roodborstje.



1 dreighouding



2 Tegen een propje rode watten wordt een zeer sterke dreighouding aangenomen.

- b** Een mannelijk roodborstje verdedigt in het voorjaar zijn territorium tegen andere roodborstmannetjes. Het mannetje neemt dan onder andere een dreighouding aan (zie afbeelding 42.1). Het mannetje neemt ook een dreighouding aan tegen een opgezet roodborstmannetje dat in het territorium wordt gezet. Tegen een roodborstmannetje zonder rode keelvlak wordt geen dreighouding aangenomen. Tegen een propje felrode watten op een ijzerdraadje wordt een zeer sterke dreighouding aangenomen (zie afbeelding 42.2).

Wat is de sleutelprikkel bij dit territoriumgedrag van het roodborstje? En wat is de supranormale prikkel bij dit territoriumgedrag?

- c** Stierenvechters gebruiken een rode lap om de stier uit te dagen. Stieren zijn kleurenblind.

Wat kan de sleutelprikkel zijn voor het aanvalsgedrag van de stier?

- 49** Het vrouwtje van de koekoek legt haar eieren in de nesten van andere soorten vogels, zoals een karekiet. Een karekiet is veel kleiner dan een koekoek. Het koekoeksjong is al snel veel groter dan de karekieten die het koekoeksjong verzorgen. De opengesperde bek van een koekoeksjong is rood. Onderzoekers voerden een experiment uit waarbij ze twee karekietnesten aan elkaar vastmaakten, één met een karekietenjong en één met een koekoeksjong. Er was slechts één karekietenouderpaar dat de zorg voor beide jongen op zich kon nemen. Het paar bleek beide jonge vogeltjes evenveel voedsel aan te bieden. In het onderzoeksverslag wordt de opengesperde bek van een koekoeksjong beschreven als een supranormale prikkel voor de karekietouders.

- a** Wat was het resultaat van dit onderzoek?
b Hoe kun je de bewering in het onderzoeksverslag noemen: een hypothese, een waarneming of een conclusie?
c Kunnen de onderzoekers de conclusie trekken dat een opengesperde bek van een koekoeksjong een supranormale prikkel voor de karekietouders is? Leg je antwoord uit.

▼ **Afb. 43** Vader met babydochter.**SLEUTELPRIKKELS BIJ MENSEN**

Ook mensen zijn gevoelig voor sleutelprikkels. Zij vinden bijvoorbeeld bepaalde kenmerken van een baby schattig. Een rond gezicht, bolle wangen, een hoog naar voren gewelfd voorhoofd, grote ogen, een wipneus, een klein zuigmondje, een in verhouding groot hoofd en mollige lichaamsvormen zijn sleutelprikkels (zie afbeelding 43). Ze veroorzaken bij veel mensen een neiging tot verzorgen en vertroetelen. In afbeelding 44 zie je links de kopjes van jonge dieren die mensen schattig vinden en willen vertroetelen en rechts koppen waarbij de sleutelprikkels hiervoor ontbreken.

▼ **Afb. 44** Koppen van dieren met en zonder sleutelprikkels voor vertroetelen.

Je kunt de sleutelprikkels bij knuffeldieren en stripfiguren extra benadrukken zodat ze werken als supranormale prikkels (zie afbeelding 46). Een voorbeeld van een supranormale prikkel bij mensen is felrood gekleurde lippen (zie afbeelding 45). Supranormale prikkels verleiden vaak tot ondoelmatig gedrag. De respons van mensen op sleutel- en supranormale prikkels is ook erfelijk maar minder voorspelbaar dan bij dieren. Mensen kunnen, door hun bewustzijn, afleren om op sleutelprikkels te reageren. Dat neemt niet weg dat sleutelprikkels en supranormale prikkels een grote invloed op het gedrag van mensen kunnen hebben. In de reclame wordt van sleutel- en supranormale prikkels handig gebruikgemaakt (zie afbeelding 47).

▼ **Afb. 45** Supranormale prikkel: vuurrode lippen.▼ **Afb. 46** Supranormale prikkels bij een pop.▼ **Afb. 47** Bij reclame worden vaak de kleuren rood en geel gebruikt.

▼ **Afb. 48** Logo van het Wereld Natuur Fonds.



► **Afb. 49**

opdrachten

- 50 In afbeelding 45 hebben de vrouwen rode lippen.
- Welke motivatie wordt (biologisch gezien) versterkt door deze prikkel in afbeelding 45?
 - Van welke sleutelprikkels is bij de pop in afbeelding 46 gebruikgemaakt?
- 51 Het Wereld Natuur Fonds gebruikt als symbool de panda (zie afbeelding 48). Dit symbool blijkt veel mensen aan te spreken. Leg uit hoe dit komt.
- 52 Supranormale prikkels spelen ook in de mode een grote rol. In afbeelding 49 zie je een mannequin met daarnaast een modetekening. Bij de selectie van mannequins wordt gelet op bepaalde uiterlijke kenmerken die fungeren als supranormale prikkels.
- Noem twee van deze kenmerken.
 - In de modetekening van afbeelding 49.2 zijn de supranormale prikkels nog extra aangezet. Geef hiervan twee voorbeelden.



1 mannequin



2 modetekening

CONTEXT

Wetenschap

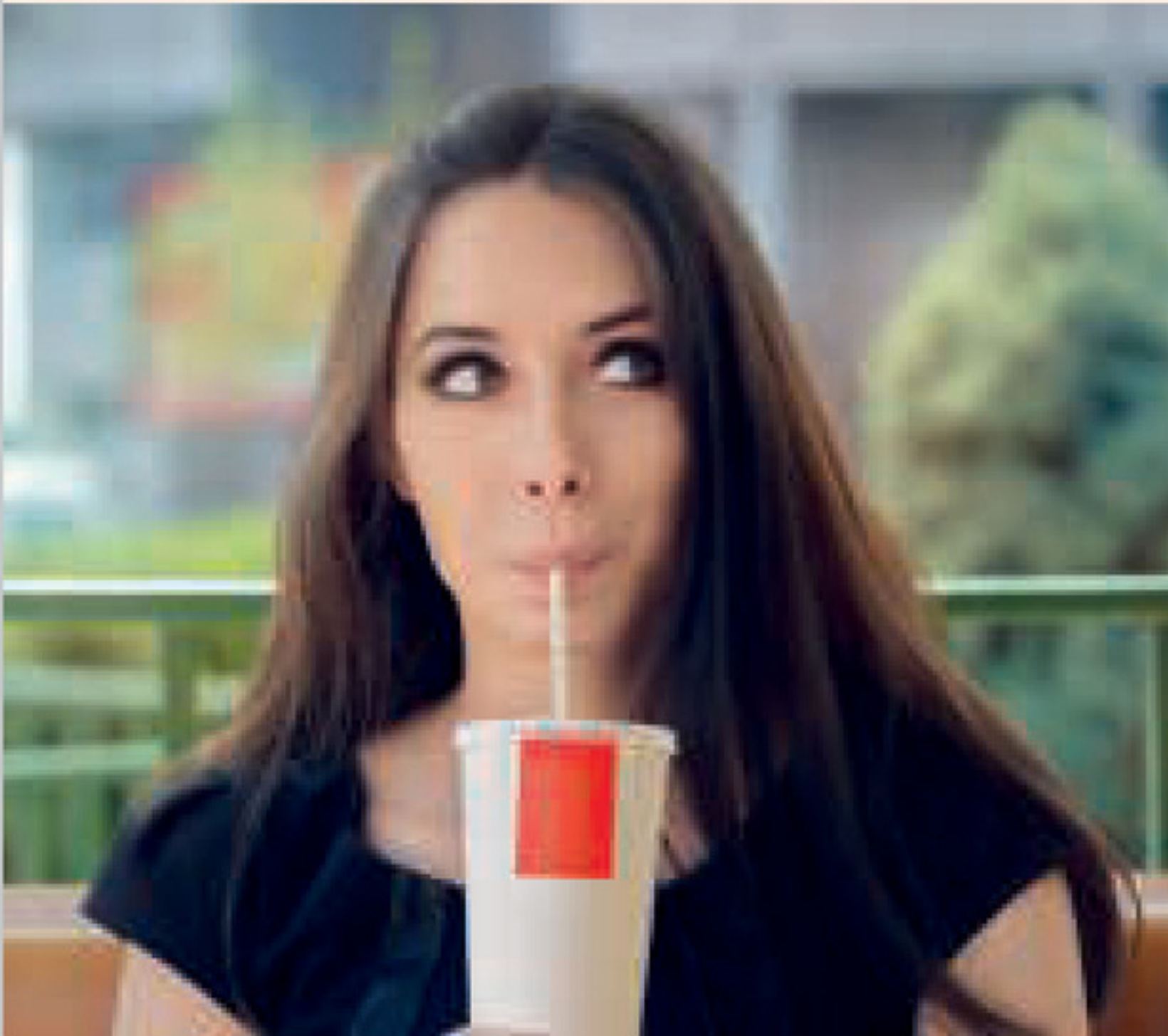
Suikerverslaving bestaat niet

Iedereen heeft weleens zin in iets zoets: een gebakje, een ijsje of een snoepje. Er wordt beweerd dat mensen overgewicht hebben door de verslavende werking van suiker. Han de Jong van de Universiteit Utrecht concludeert in zijn promotie-onderzoek dat suiker niet verslavend is, tenminste niet op de manier zoals verslavende drugs.

Wel zijn er overeenkomsten tussen drugs en suiker. Interne en externe prikkels lokken voedingsgedrag uit, bijvoorbeeld de geur van lekker eten of de reclame over voedsel. Bij die motivatie om te eten speelt de stof dopamine een belangrijke rol. Suiker veroorzaakt dopamineafgifte in het beloningssysteem in ons brein en in dat opzicht lijkt het op verslavende drugs. Dit is de reden dat mensen suikerrijk eten zo aantrekkelijk vinden. Drugs kunnen na verloop van tijd het dopaminesysteem echt veranderen, waardoor je niet meer zonder kunt en verslaafd bent. Suiker eten geeft weliswaar een gevoel van beloning, maar je wordt er niet van afhankelijk.

Han de Jong stelt dan ook dat het belangrijk is dat we ons daarvan bewust zijn, zeker als het gaat om kwetsbare, gemakkelijk te beïnvloeden hersenen zoals die van kinderen. Stellen dat suiker écht verslavend is zoals cocaïne, gaat te ver. Naar: <https://www.gezondheidsnet.nl/overgewicht-en-afvallen/suikerverslaving-bestaat-niet>, juni 2015.

▼ **Afb. 50** Lekker zoet!



opdrachten

- 53 a** Waarom zijn volgens het onderzoek drugs wel verslavend maar suiker niet echt?
- b** Het vrijkomen van dopamine bij de consumptie van suiker veroorzaakt een plezierig gevoel.
Welke interne en externe prikkel versterken de motivatie voor het consumeren van suiker?
- c** Welke schadelijke gevolgen kan overmatige suikerconsumptie hebben?
- 54** In sommige landen wordt extra belasting geheven op suikerhoudende producten om de suikerconsumptie te verminderen. Er zijn meer maatregelen mogelijk, bijvoorbeeld het verbieden van de verkoop van suikerhoudende producten of voorlichting geven op scholen over de gezondheidseffecten.
Welke (combinatie van) maatregelen heeft jouw voorkeur? Onderbouw je mening met argumenten.

Leerdoelen

- Je kunt leerprocessen herkennen en beschrijven en de functie van leren uitleggen.

5 Aangepast gedrag

Direct na de geboorte zuigt een hongerige baby net zo hard op een pink als aan de borst. Erfelijk gedrag is dus niet in elke situatie effectief. Om wormen te lokken maken jonge kieviten trappende bewegingen op vochtig grasland, maar ook op een natte dweil. Gelukkig trappelt na een tijdje de jonge kievit niet meer op de natte dweil: hij heeft geleerd!

LEERPROCESSEN

Behalve door prikkels wordt gedrag gevormd door erfelijke factoren en door **leerprocessen**. Het genotype van mensen en dieren bevat informatie over gedragssystemen voor veel situaties. Het grote voordeel van erfelijk gedrag is dat dieren en mensen al vanaf de geboorte adequaat gedrag kunnen vertonen in bekende situaties. Het nadeel van erfelijk gedrag is dat het star is en in een onverwachte situatie niet altijd effectief (zie afbeelding 51). In een leerproces verandert het gedrag van een dier duurzaam (langdurig) onder invloed van externe prikkels. Op basis van ervaringen gedurende de levensloop kan het dier adequaat gedrag ontwikkelen door leerprocessen.

► **Afb. 51** Erfelijk (aangeboren) gedrag.



1 bij een baby



2 bij een kievit

opdracht

- 55** Voor elke handeling is het aandeel van erfelijke factoren en het aandeel van leerprocessen verschillend. Noteer van de volgende gedragssystemen of ze grotendeels worden bepaald door erfelijke factoren of grotendeels door leerprocessen.
- 1 Een papegaai spreekt woorden uit.
 - 2 Een stekelbaars voert een baltsritueel uit.
 - 3 Een reddingshond gaat op zoek naar een slachtoffer.
 - 4 Een kangoeroejong kruipt na de geboorte in de buidel.
 - 5 Een meisje speelt piano.

MANIEREN VAN LEREN

Wat een dier kan leren, is afhankelijk van de soort waartoe het dier behoort. Een tijger leert bijvoorbeeld andere dingen dan een giraffe. Leren kan op verschillende manieren plaatsvinden: door inprenting, door gewenning, proefondervindelijk en door inzicht. Dieren leren van soortgenoten (of mensen) door imitatie en door conditionering. Leerprocessen komen van nature voor of worden gebruikt om gedrag gericht te beïnvloeden, bijvoorbeeld door dressuur, opvoeding en onderwijs.

INPRENTING EN GEWENNING

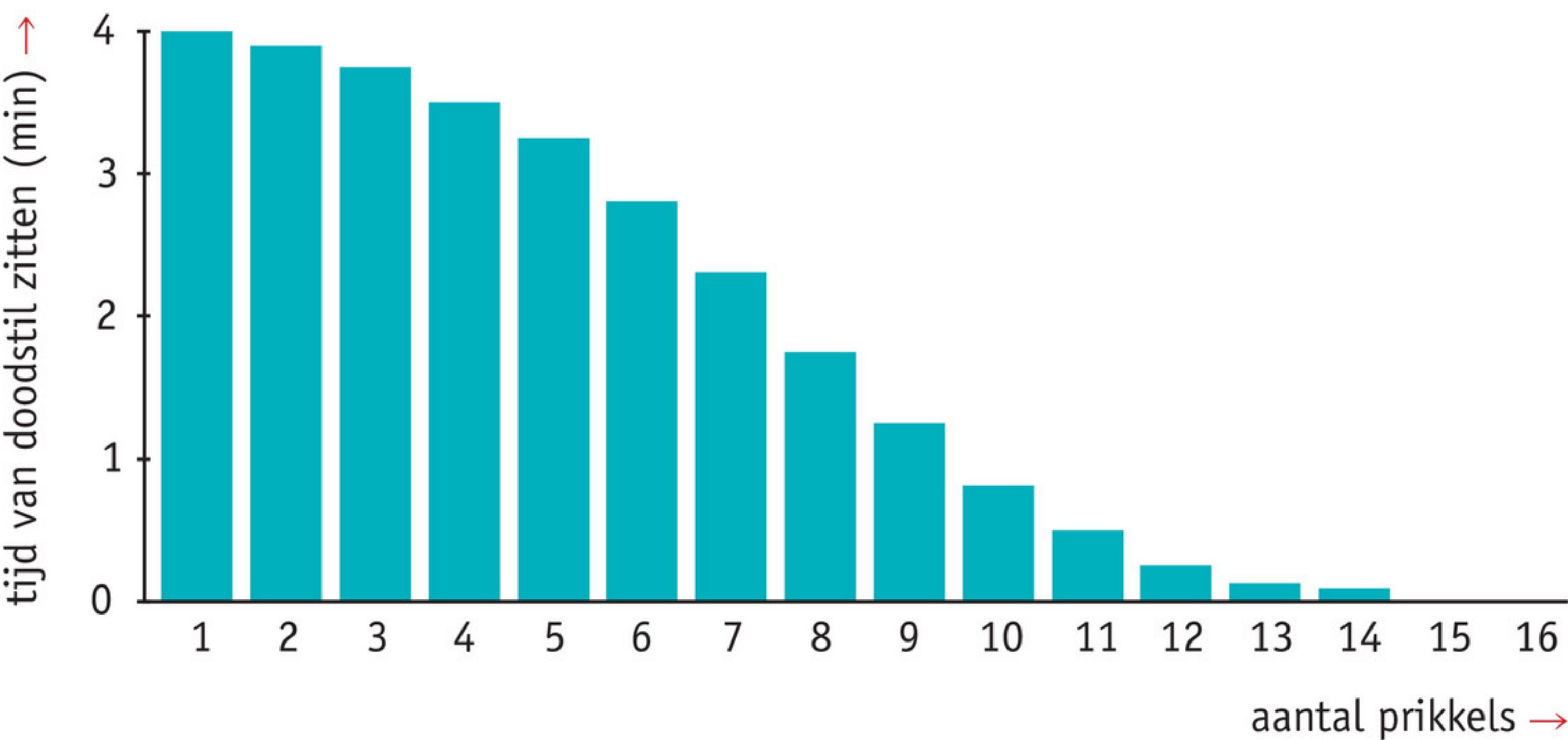
Je spreekt van **inprenting** wanneer dieren iets alleen leren in een bepaalde, korte periode in hun leven (**gevoelige periode**). Het leren herkennen van ouders of soortgenoten berust bij veel diersoorten op inprenting. Jonge ganzen gaan al snel na het uitkomen van de eieren op stap, achter hun moeder aan. Tussen het twaalfde en het zeventiende uur na het uitkomen leren de jonge ganzen hoe hun moeder eruitziet. In deze periode kunnen ze ook iets anders als hun moeder aanvaarden, als dit op een bepaalde manier beweegt en bepaalde geluiden maakt (zie afbeelding 52).

► Afb. 52 Inprenting bij ganzen.



Als de kans op een reactie op een prikkel afneemt bij herhaaldelijke toediening van een prikkel, spreek je van **gewenning**. Een muis vertoont een schrikreactie na een hard geluid (zie afbeelding 53). De muis duikt dan in elkaar en blijft even doodstil zitten. Wanneer het geluid wordt herhaald, duurt de schrikreactie steeds korter. Op het laatst blijft de schrikreactie uit. Het dier is dan gewend geraakt aan het geluid. Bij gewenning gaat het om het afleren van reacties op bepaalde prikkels uit het milieu.

► Afb. 53 Gewenning bij een muis.



opdrachten

- 56 Als je een parkiet tam wilt maken, moet je deze zo vroeg mogelijk bij de ouders vandaan halen.
Leg uit waarmee dat samenhangt.

▼ **Afb. 54** Roerdomp in de paalhouding.



- 57 Bij een muis is gewenning opgetreden voor een bepaald hard geluid. De muis reageert niet meer op het geluid.
- a Verwacht je een reactie als je deze muis aan een felle lichtflits blootstelt? Leg je antwoord uit.
 - b Wat is onder natuurlijke omstandigheden het nut van gewenning?
- 58 Wanneer de roerdomp, een in Nederland zeldzame reigersoort, merkt dat er gevaar dreigt, neemt hij de 'paalhouding' aan (zie afbeelding 54). Wordt de bedreiging sterker, dan pikt de roerdomp naar de ogen van de aanvaller. Onderzoekers konden deze afweerreactie steeds weer opwekken met een bepaald model: een kartonnen vlak met twee opgeplakte schijven. De oogpikbeweging van een roerdomp kan erfelijk zijn vastgelegd. Ook is het mogelijk dat dit gedrag is aangeleerd.
- a Hoe zou de methode van dit experiment eruit kunnen zien waarmee je kunt vaststellen of het naar de ogen pikken bij de roerdomp erfelijk is vastgelegd of is aangeleerd? Je mag er bij je experiment van uitgaan dat je de beschikking hebt over een groot aantal broedende roerdompen.
 - b Welk resultaat van het experiment leidt tot de conclusie dat het oogpikgedrag erfelijk is vastgelegd? En welk resultaat leidt tot de conclusie dat het gedrag is aangeleerd?

CONDITIONERING

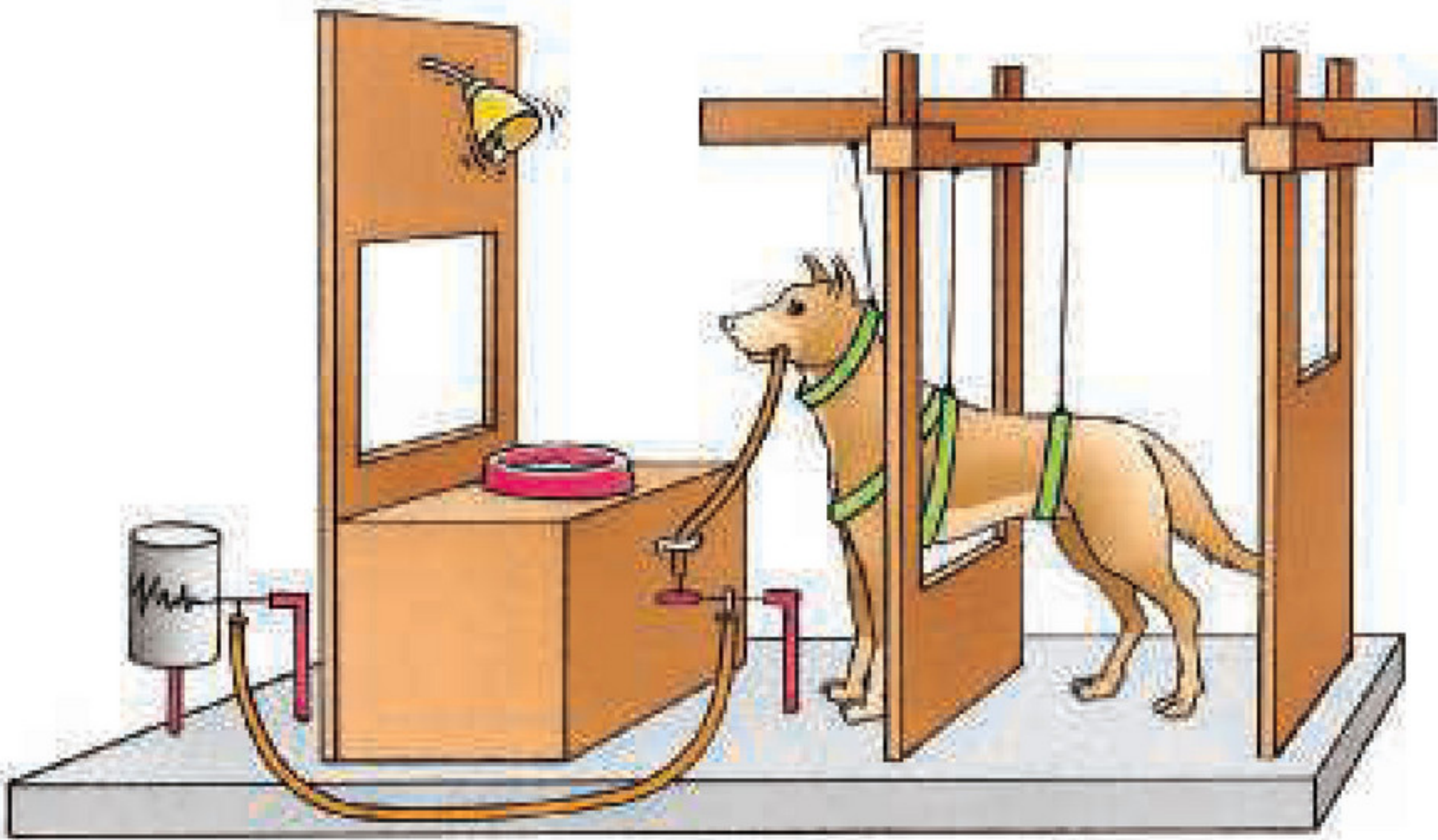
Bij **conditionering** leert een dier of mens bepaald gedrag door 'beloning' of 'straf'. Conditionering onder natuurlijke omstandigheden heet **proefondervindelijk** leren. Daarbij leren dieren van het effect dat bepaald gedrag oplevert. Een insectenetende vogel bijvoorbeeld vermijdt alle zwartoranje gekleurde rupsen, na enkele keren de vieze smaak van een zwartoranje rups te hebben geproefd. Je noemt dit proefondervindelijk leren ook wel leren door '**trial and error**'. Als de uitgevoerde handeling geen beloning oplevert, neemt de frequentie van de handeling af. Bij beloning neemt de handelingsfrequentie juist toe. Leren door conditioneren wordt veel toegepast bij dressuur, bij het trainen van honden en bij het dresser van bijvoorbeeld dolfijnen. Ook in opvoeding en onderwijs speelt conditionering een rol.

PAVLOV-EFFECT, DE SKINNER-BOX EN DOPAMINE

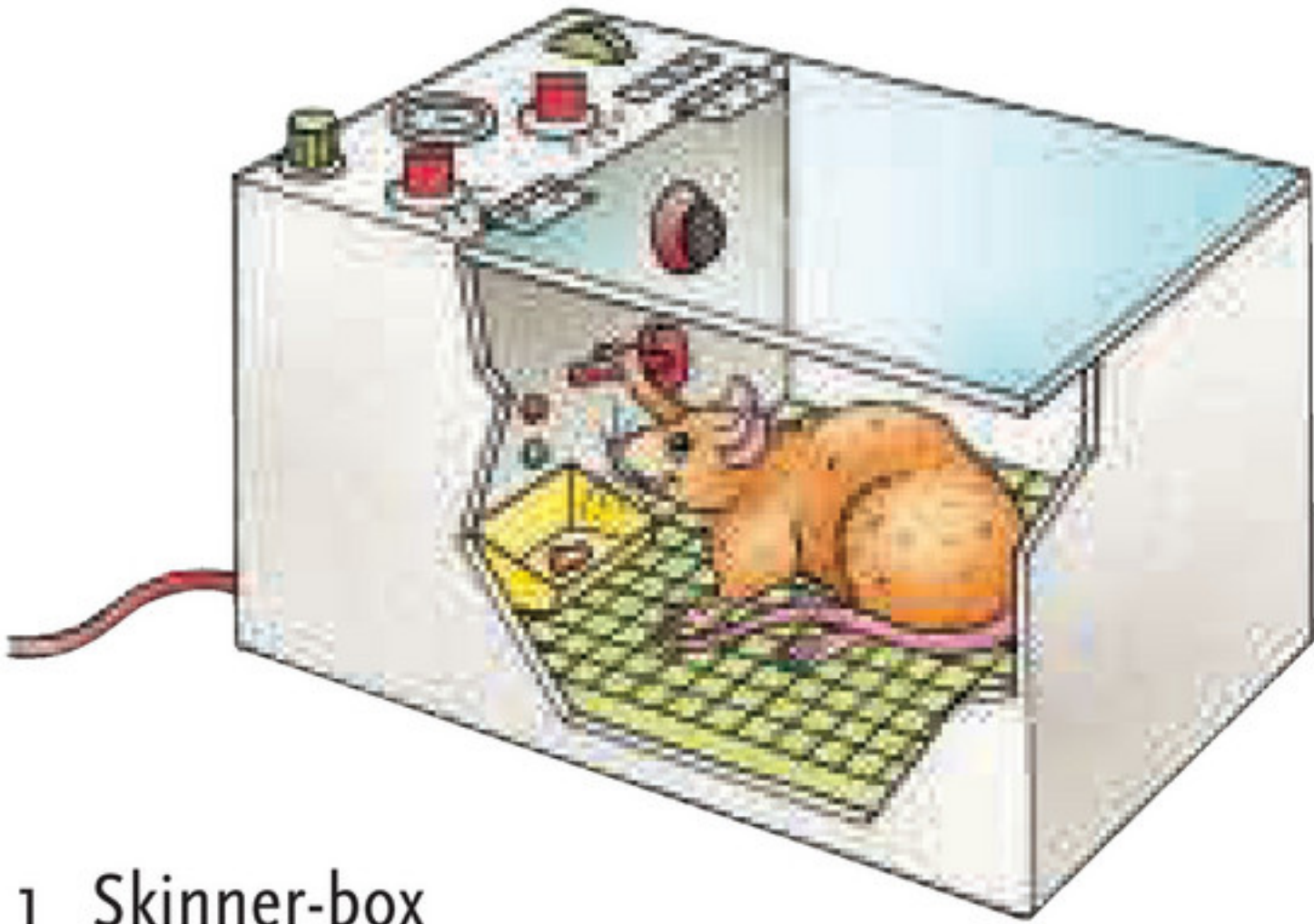
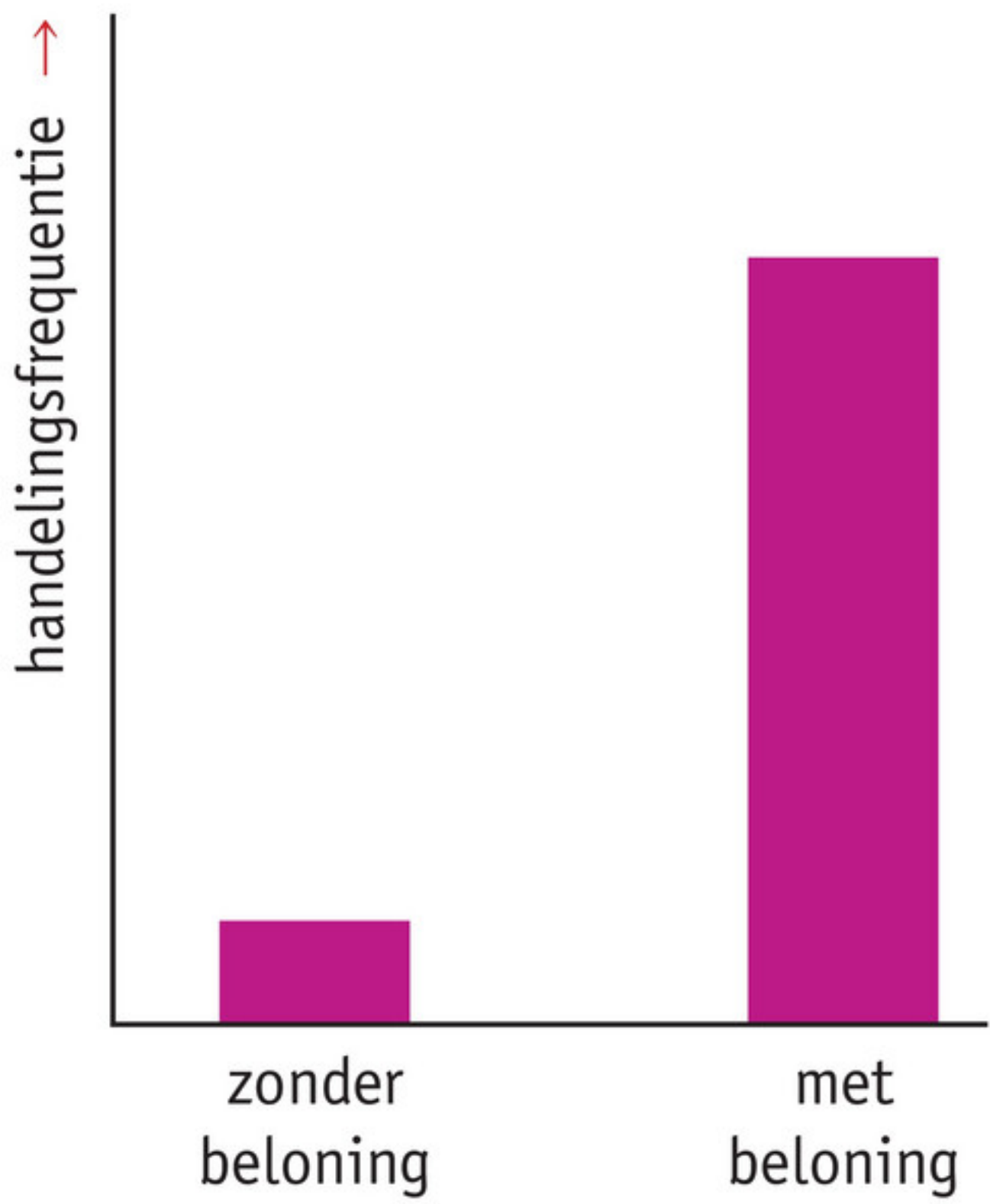
Een klassiek voorbeeld van conditionering zijn de proeven van de Russische gedragsonderzoeker Ivan Pavlov aan het begin van de twintigste eeuw. Hij liet zien dat een natuurlijke prikkel (voedsel) kan worden vervangen door een kunstmatige prikkel (een belgeluid) bij het veroorzaken van een natuurlijke respons (zie afbeelding 55). Pavlov noemde deze reactie een **geconditioneerde reflex** en staat nu bekend als de Pavlov-reactie. Bij een geconditioneerde reflex veroorzaakt een kunstmatige prikkel een bepaald gedrag (respons) dat oorspronkelijk niet door die prikkel werd veroorzaakt.

In de jaren vijftig van de vorige eeuw publiceerde de Amerikaanse psycholoog Burrhus Skinner een manier om gedrag te beïnvloeden via beloning. Skinner ontwikkelde een 'leermachine' voor dieren: de **Skinner-box** (zie afbeelding 56). Door een beloning na een handeling ontstaat in de hersenen de neurotransmitter dopamine. Dopamine geeft een geluksgevoel. Bij dieren en mensen kan door beloning het meest uiteenlopende gedrag worden aangeleerd. Mensen kunnen er bewust voor kiezen om hun gedrag niet te laten beïnvloeden door een aangeboden beloning.

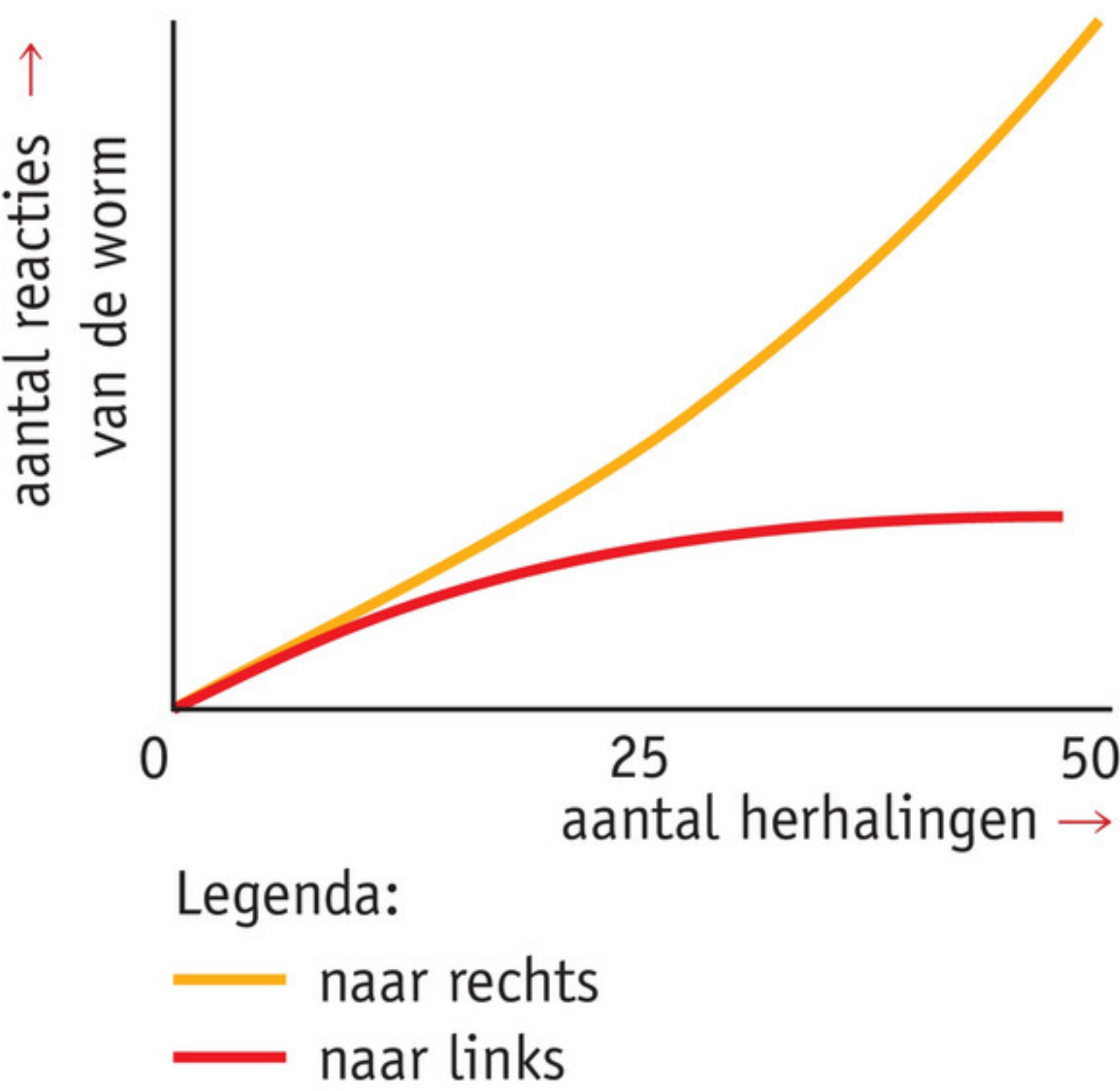
▼ Afb. 55

ONDERZOEK		PAVLOV-REACTIE
Inleiding	Als een hond voedsel in zijn bek krijgt (natuurlijke prikkel), gaan zijn speekselklieren speeksel produceren (respons).	
Onderzoeksvraag	Kan een kunstmatige prikkel dezelfde respons veroorzaken als een natuurlijke prikkel?	
Hypothese	Een kunstmatige prikkel kan dezelfde respons veroorzaken als een natuurlijke prikkel.	
Experiment	Pavlov bracht door de wang van de hond een buisje aan in een speekselklier, zodat de hoeveelheid geproduceerd speeksel kon worden gemeten (zie afbeelding 1).  1 proefopstelling Hij onderscheidde drie fasen: 1 Geef het dier eerst alleen voedsel. 2 Bied een aantal malen voedsel aan, dat telkens wordt voorafgegaan door een bepaald geluid. 3 Laat tot slot alleen het belgeluid horen. Meet bij elke fase de hoeveelheid geproduceerd speeksel.	
Resultaat	fase 1 S ————— V ————■————— R —————■————— fase 2 S —■————— V —————■————— R —————■————— fase 3 S —■————— V ————— R —————■————— Legenda: S = signaal (belgeluid) V = voedsel R = respons	
Conclusie	2 schema behandeling en resultaat	

▼ Afb. 56

ONDERZOEK		SKINNER-BOX
Inleiding	Met de Skinner-box kon Skinner laten zien hoe gedrag door beloning beïnvloed kan worden. Een hongerige rat die in de kooi wordt gezet, zal vroeg of laat op het hefboompje drukken.	
Onderzoeksvraag	Kan het gedrag van een rat worden beïnvloed door gewenst gedrag te belonen?	
Hypothese	Gedrag kan worden beïnvloed door gewenst gedrag te belonen.	
Experiment	In de Skinner-box bevindt zich een hefboompje. Wanneer een rat daarop drukt, valt een voedselbrokje in de voerbak. Het aantal keren dat het hefboompje door de rat wordt ingedrukt, wordt geregistreerd.  1 Skinner-box	
Resultaat	 2 behandeling en resultaat	
Conclusie		

▼ Afb. 57 Leren door conditionering bij een regenworm.



opdrachten

- 59 Veel dieren kun je dressereren door conditionering, zelfs een regenworm. Tijdens een experiment kon een regenworm in een T-vormige buis kiezen tussen linksaf of rechtsaf gaan. Als de worm linksaf ging, kreeg hij een zwakke elektrische schok. Als hij rechtsaf ging, kreeg hij een sappig slablaadje. In het begin ging de worm ongeveer even vaak linksaf als rechtsaf. Na ongeveer honderd keer ging de worm alleen nog maar rechtsaf.
- a Teken schematisch de proefopstelling voor het conditioneren van de regenworm.
- b In afbeelding 57 is het resultaat van het experiment weergegeven. Welke conclusie kun je trekken uit dit experiment?

- 60 In afbeelding 55 zie je het experiment van Pavlov. De resultaten staan in een schema.
- Formuleer het resultaat in woorden voor fase 1, 2 en 3.
 - Formuleer de conclusie van het experiment van Pavlov.
- 61 Als je de bel van de ijscoke hoort, wil je een ijsje gaan kopen.
Hoe kun je deze reactie verklaren volgens Pavlov?
- 62 De meeste fabrikanten hebben een logo (beeldmerk) voor hun producten. Om de markt kennis te laten maken met hun product, wordt het product vaak een keer gratis aangeboden.
Verklaar de functie van beeldmerken en gratis producten met conditionering.
- 63 In afbeelding 56 zie je het experiment van Skinner.
- Welk verband tussen de handelingsfrequentie en het geven van voer werd gevonden als resultaat?
 - In een experiment wordt een hongerige rat in een Skinner-box geplaatst. De rat heeft nooit eerder in een Skinner-box gezeten.
In welk diagram van afbeelding 58 is deze frequentie juist weergegeven? Tijdstip 0 is het moment waarop de rat in de Skinner-box is geplaatst.
 - Geef aan waarom het voor het leerproces van de rat in het experiment van belang is dat de rat hongerig is.
 - Welke conclusie kun je trekken?
 - Uit afbeelding 58 blijkt de frequentie van het hefboomdrukken na enige tijd af te nemen.
Verklaar deze afname.

▼ **Afb. 58** Diagrammen van de handelingsfrequentie.

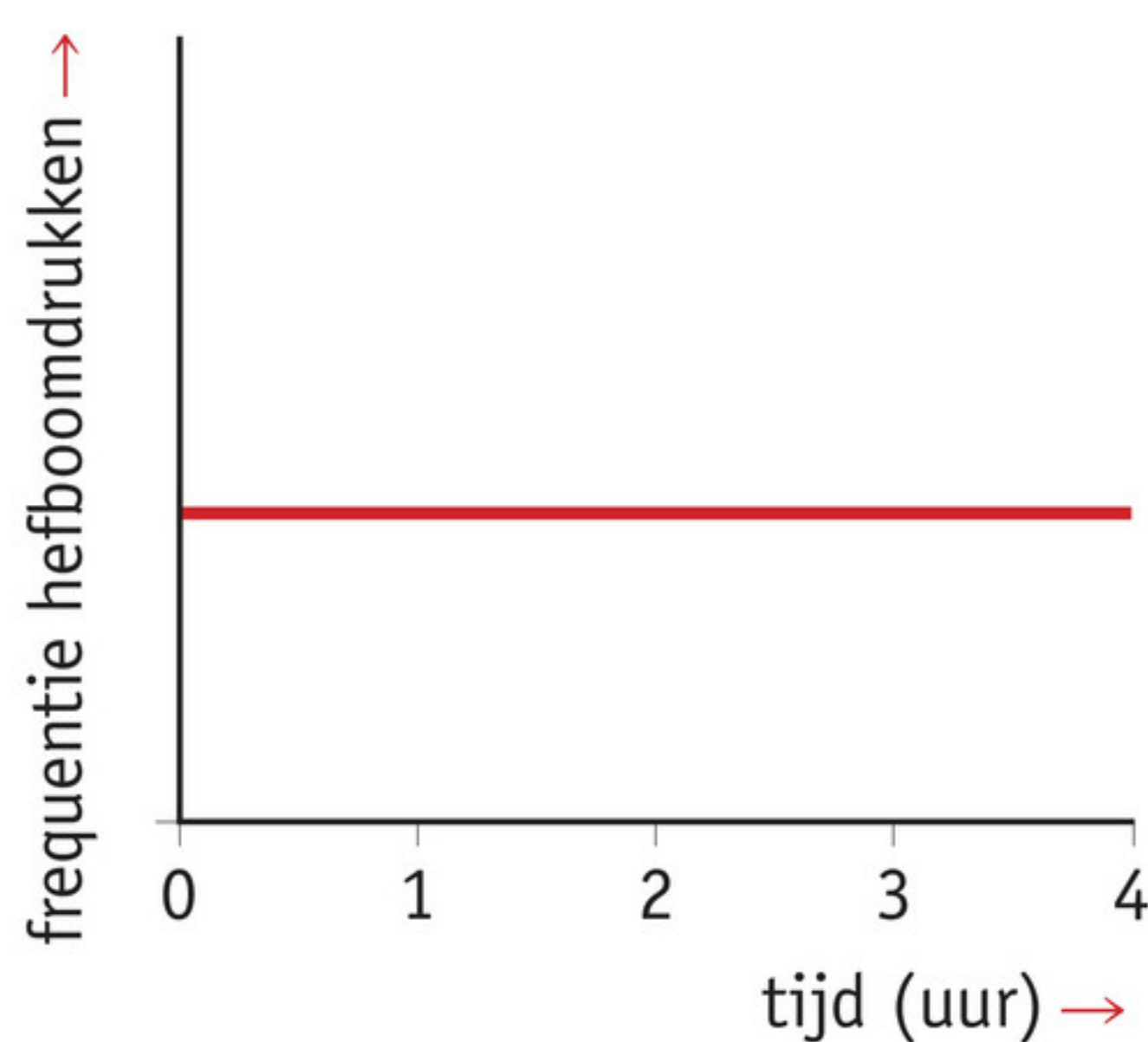


diagram 1

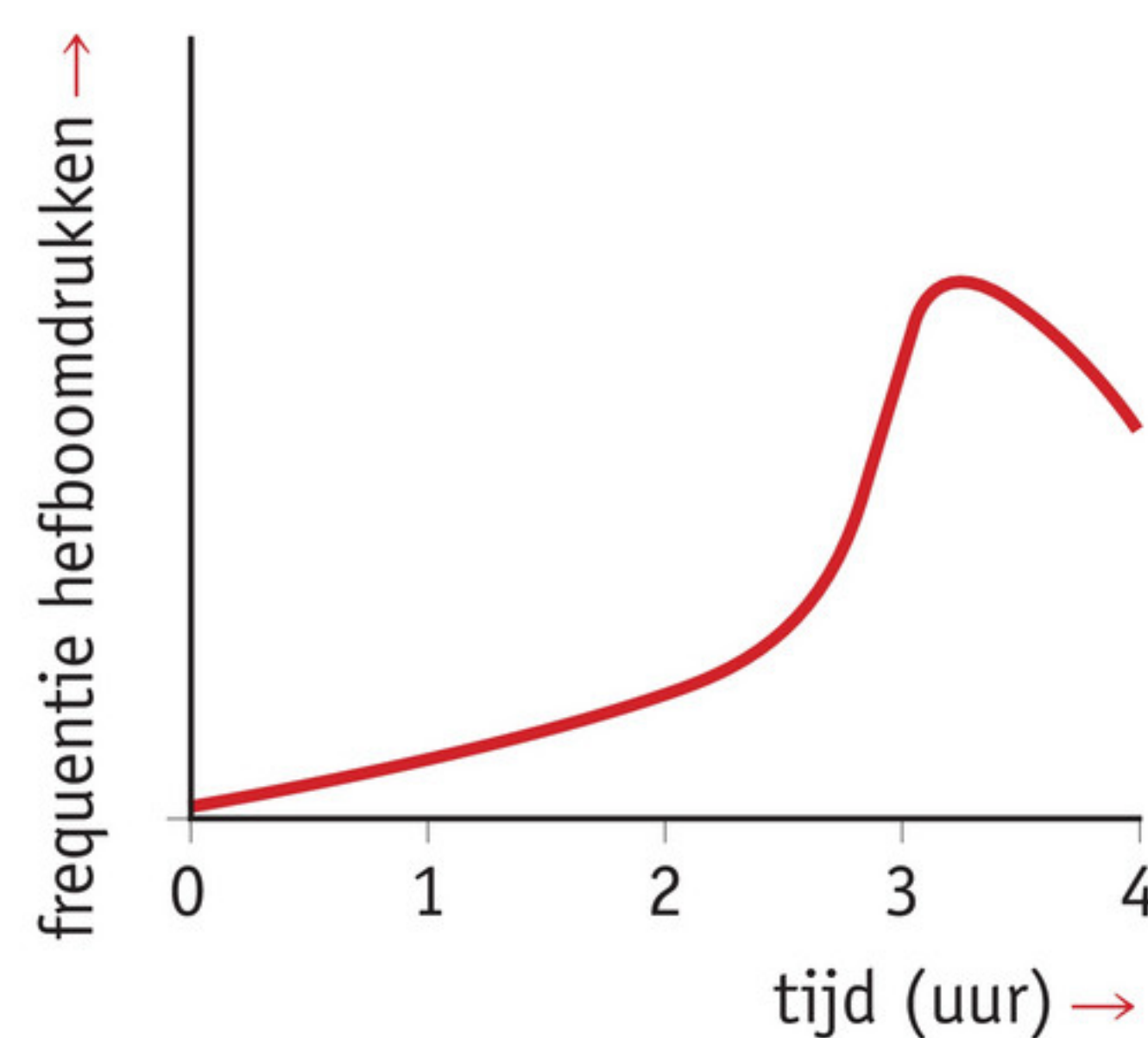


diagram 2

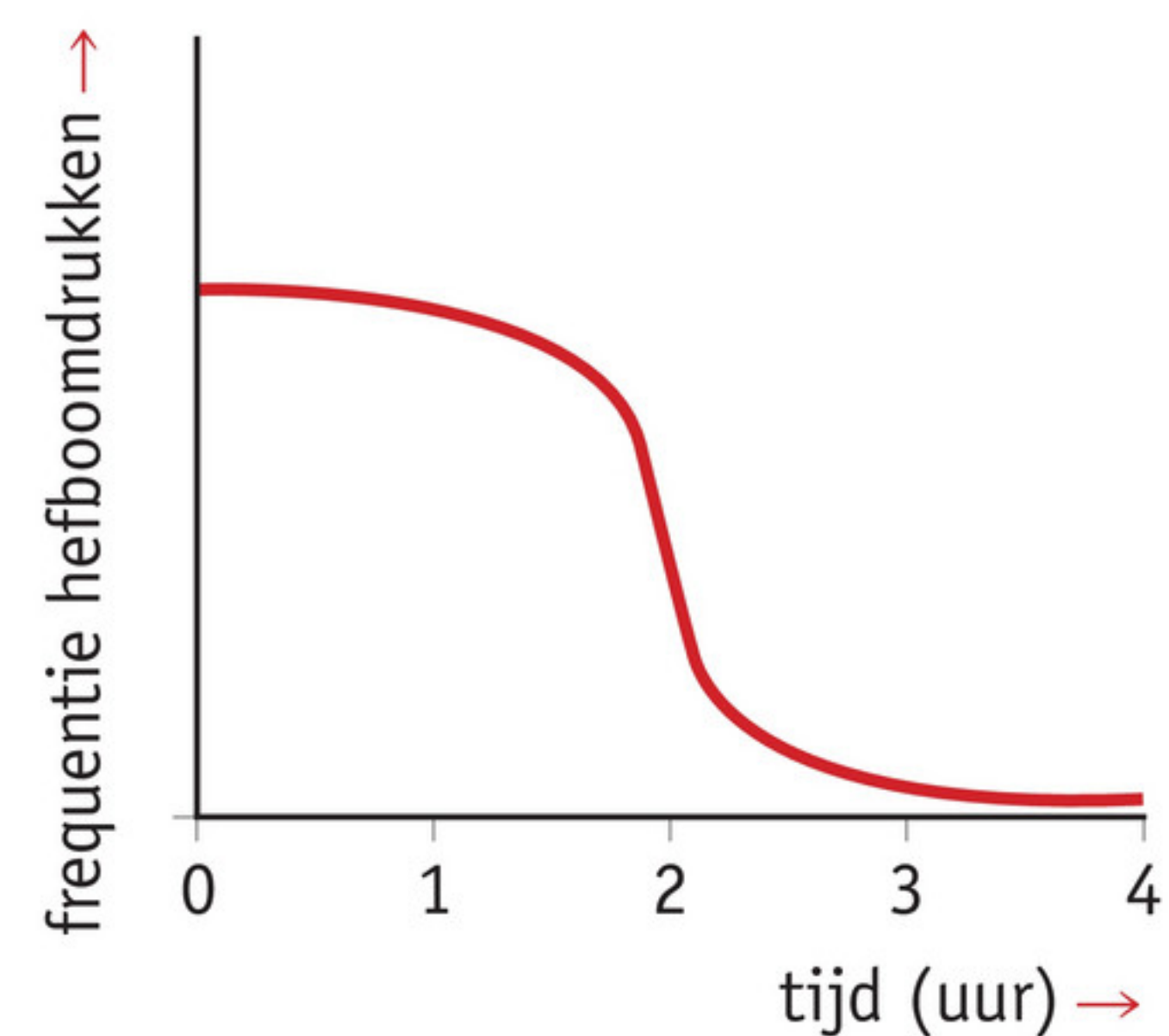


diagram 3

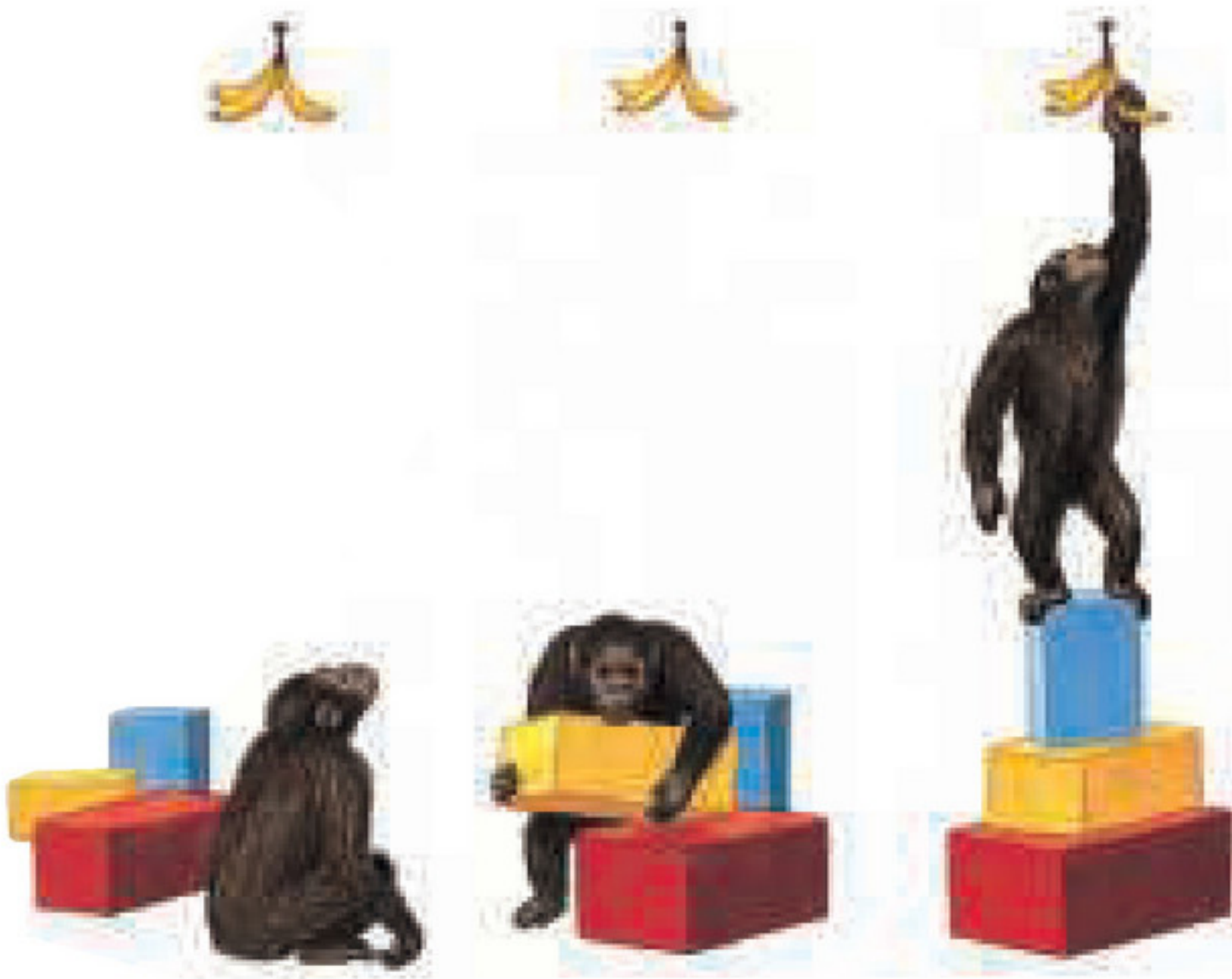
▼ **Afb. 59** Leren door imitatie.



IMITATIE

Wanneer dieren leren door het gedrag van soortgenoten na te doen, spreek je van **imitatie** (nabootsing). Jonge vogels leren de zang door de geluiden van de ouders na te bootsen. Soms wordt nieuw ontwikkeld gedrag geïmiteerd als dat voordeel oplevert. Een groep apen (makaken) kreeg met grond vervuilde zoete aardappelen en graankorrels aangeboden. Een makakenvrouwtje raapte de graankorrels niet langer stuk voor stuk tussen de zandkorrels op, maar harkte de korrels met haar handen bij elkaar en smeed ze met zand en al in het water. Het zand zonk en de korrels bleven drijven, zodat de korrels zonder moeite konden worden opgeschept. Dit gedrag werd door andere groepsleden geïmiteerd.

▼ **Afb. 6o** Leren door inzicht bij mensapen.



INZICHT

Je spreekt van **inzicht** wanneer een dier of mens in een nieuwe situatie de oplossing van een probleem vindt door ervaringen uit het verleden op een andere wijze te combineren. Leren door inzicht komt vooral bij primaten voor (zie afbeelding 6o). Het wordt door mensen systematisch toegepast in onderzoeks- en ontwerpprocessen.

opdrachten

- 64 De groep apen (makaken) werd bijgevoerd met onder andere aardappelen. Een van de jonge vrouwtjes ging de aardappelen wassen voordat ze deze at (zie afbeelding 59). Dit gedrag werd al snel overgenomen door de jonge dieren. Bij de makaken aarzelden de oudere mannetjes om het gedrag van het jonge vrouwtje te imiteren, doordat het vrouwtje lager in rang staat. Uiteindelijk imiteerden ze het gedrag toch. Wat kan de reden zijn dat ze het gedrag uiteindelijk toch imiteerden?
- 65 Welk leerproces ligt ten grondslag ligt aan de volgende verschijnselen?
- 1 Jonge chimpansees die nog nooit aan proeven mee hadden gedaan, werden in een ruimte gebracht met een tros bananen aan het plafond. In de ruimte bevonden zich enkele kisten. De chimpansees konden niet rechtstreeks bij de bananen, maar sommige chimpansees bouwden al vrij snel een stapel van de kisten, waardoor ze de bananen te pakken kregen (zie afbeelding 6o).
 - 2 Een jonge vogel landt tegen de wind in. Vogels die met de wind mee landen, vallen voorover.
 - 3 Eieren van een zebrovink werden uitgebroed door pleegouders van een andere soort. De uitgekomen jongen werden enkele weken lang door de pleegouders verzorgd. Daarna werden de jongen van de pleegouders gescheiden. Het volgende jaar richtten de mannelijke jongen hun voortplantingsgedrag op vrouwtjes van de pleegoudersoort.
 - 4 Dolfijnen leerden in een dolfinarium over een hindernis te springen.
 - 5 In een kersenboomgaard werden de spreeuwen verjaagd door om de vijf minuten een harde knal te laten horen. Na enkele dagen vlogen de spreeuwen niet meer weg wanneer ze de knal hoorden.
- 66 Bij goudvinken zingen alleen de mannetjes (zie afbeelding 61). De jongen worden door beide ouders verzorgd tot ze uitvliegen. Een etholoog heeft twee goudvinkmannetjes. Het normale mannetje (G) zingt op een manier zoals de meeste goudvinken. Het andere mannetje (K) zingt op een manier die doet denken aan de zang van een kanarie. De etholoog laat beide mannetjes paren met normale goudvinkvrouwtjes. De jongen worden op normale wijze door de ouders grootgebracht. De mannelijke nakomelingen van goudvink G blijken de normale goudvinkenzang te ontwikkelen, terwijl de mannelijke nakomelingen van goudvink K op een kanarieachtige manier zingen. De onderzoeker veronderstelt dat de aard van de zang bij jonge goudvinken door inprenting wordt geleerd en niet een gevolg is van erfelijke factoren.
- a Welke stap in het onderzoek wordt weergegeven met de veronderstelling?
 - b Beschrijf een experiment waarmee je na nieuwe paringen van de goudvinken G en K met normale vrouwtjes kunt controleren of de hypothese wel of niet juist is.
 - c Geef de verwachting van het experiment wanneer er sprake is van inprenting. Formuleer dit in de zin 'Als ... dan ...'.

▼ **Afb. 61** Goudvink.



CONTEXT

Wetenschap

Slimme kraai

▼ **Afb. 62** Wipsnavelkraai.



Betty de kraai liet wetenschappers versteld staan. Voor de verbaasde ogen van de onderzoekers verboog Betty een ijzerdraadje, om daar vervolgens voedsel mee uit een cilinder te vissen. De kraai herhaalde het kunstje maar liefst negen keer. Wipsnavelkraaien staan bekend om hun intelligentie en maken als enige niet-primaten gebruiksvoorwerpen, zoals porstokjes en haken.

Wetenschappers baseerden een andere proefopstelling op het fabeltje van ‘de kraai en de kruik’. De proefopstelling bestond uit diepe buizen met water waarin een beloning dreef. Om de beloning te pakken te krijgen, moesten de kraaien stenen in de buizen gooien. De kraaien deden vaker steentjes in een buis met water dan in een buis met zand, gebruikten vaker zinkende in plaats van drijvende steentjes, gebruikten vaker massieve dan holle voorwerpen en deden dit vaker in een buis met een hogere waterstand. Allemaal de beste oplossingen om de beloning te veroveren.

opdracht

- 67 Het leervermogen van Betty de kraai wordt vergeleken met dat van primaten.
- a Om welke vorm van leren gaat het hier waarschijnlijk?
 - b Bij de tweede proefopstelling met de buizen konden de kraaien een beloning verdienen.
Is hier sprake van trial and error, van conditionering of van inzicht? Leg je antwoord uit.
 - c Leren door inzicht verloopt in drie fasen:
 - A herkennen van een probleem in een nieuwe situatie;
 - B (re)combineren van kennis uit eerdere ervaringen;
 - C toepassen nieuwe oplossing.
 In de volgende zinnen staan de stappen van het leerproces van Betty de kraai in willekeurige volgorde.
 - 1 Een ijzerdraadje past in een lange smalle ruimte.
 - 2 Met een haakje kun je voedsel uit een maatcilinder vissen.
 - 3 Een ijzerdraadje kun je verbuigen tot een haakje.
 - 4 Het voedsel is onbereikbaar.
 - 5 Voedsel blijft achter een haakje hangen.
 Bij welke fase hoort elk van de vijf stappen?



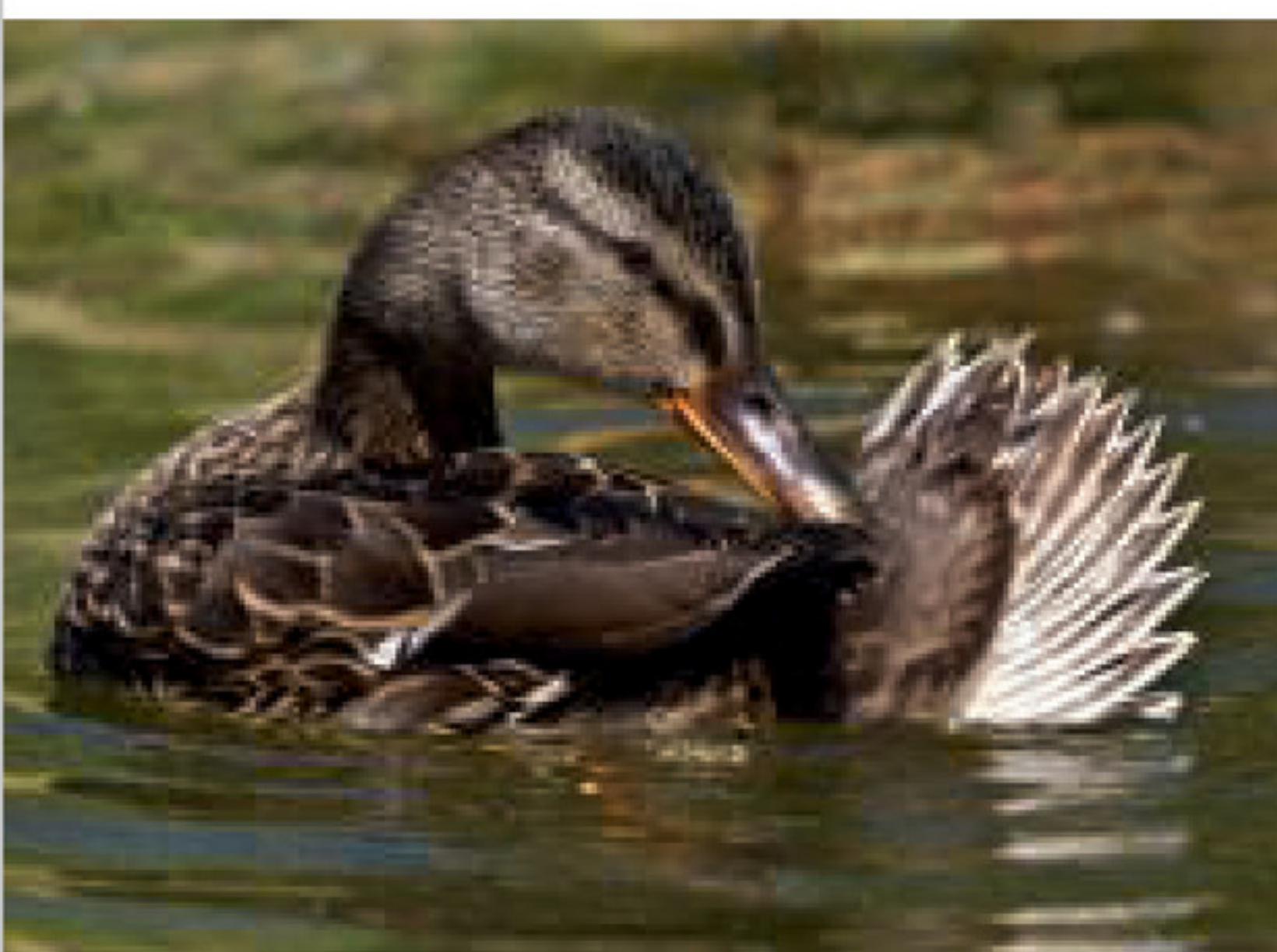
Leerdoelen

- Je kunt de functie van verschillende vormen van sociaal gedrag uitleggen en het verband aangeven met overlevingskansen.

- ▼ **Afb. 63** Een tuimelaar sluit een school vissen in.



- ▼ **Afb. 64** Poetsgedrag bij een wilde eend.



6 Sociaal gedrag

Bij kippen is er altijd één hen die alle andere hennen domineert door naar ze te pikken en ze op die manier te verdringen bij het verkrijgen van voedsel. De hen boven aan de pikorde heeft het hoogste testosterongehalte in haar bloed. De hen onder aan de pikorde is de dupe en wordt door alle andere hennen gepikt.

SIGNALEN

Bij veel dieren en mensen wordt het gedrag sterk beïnvloed door soortgenoten. Het gedrag van soortgenoten ten opzichte van elkaar noem je **sociaal gedrag**. Bij sociaal gedrag is een handeling van een individu de prikkel voor een handeling van een soortgenoot. Je noemt de prikkels (handelingen) bij sociaal gedrag **signalen**. Bij de balts van de stekelbaars bijvoorbeeld is de zigzagdans van het mannetje voor het vrouwtje een signaal waardoor het vrouwtje de baltshouding aanneemt. Signalen dienen voor informatieoverdracht tussen soortgenoten (**communiceren**). Signalen kunnen worden gegeven door middel van kleuren, geuren, geluiden, houdingen, gebaren en taal. Sociaal gedrag kan dienen voor de vaststelling van een rangorde en de taakverdeling binnen groepen, voortplantingsgedrag, verzorgingsgedrag en territoriumgedrag.

Samenleven in een groep kan de kans vergroten om te overleven. Tuimelaars (een dolfijnensoort) werken bijvoorbeeld samen bij het vangen van vis (zie afbeelding 63). Nakomelingen worden beschermd en verzorgd door de groep en kunnen leren van hun groepsgenoten.

Binnen groepen kunnen ook conflicten ontstaan. De verdeling van macht, ruimte, voedsel en seksuele partners zijn twistpunten. Het vormen van territoria, een duidelijke onderlinge rangorde of een strakke taakverdeling zijn manieren om ernstige conflicten tussen soortgenoten te voorkomen.

opdracht

- 68 a** Twee merelmannetjes vechten om een territorium.
Is dit sociaal gedrag? Leg je antwoord uit.
- b** Iemand geeft zijn hond commando's.
Is dit sociaal gedrag? Leg je antwoord uit.
- c** Geef een voorbeeld van een prikkel met signaalfunctie bij mensen.

VOORTPLANTINGSGEDRAG

Bij veel diersoorten gaat aan de paring baltsgedrag vooraf dat bestaat uit een aantal karakteristieke signalen die een gedragsketen vormen. Baltsgedrag is opvallend en lokt daardoor mogelijke partners aan. Baltsgedrag vergroot de bereidheid tot paring (voortplantingsdrang). Paring is noodzakelijk bij diergroepen met inwendige bevruchting zoals vogels en zoogdieren. De balts vermindert agressie tussen partners en kan de paarband versterken. De signalen bij de balts zijn soortspecifiek, zodat alleen paring met soortgenoten plaatsvindt.

Baltsgedrag bestaat meestal uit een combinatie van handelingen uit andere gedragssystemen, zoals voortplantingsgedrag, aanvals- en vluchtgedrag, voedingsgedrag en verzorgingsgedrag. Een voorbeeld hiervan is het 'poetsen' van de veren door eenden tijdens de balts (zie afbeelding 64).

De handelingen bij de balts worden vaak overdreven, omgevormd en/of versneld uitgevoerd, zodat ze een signaalfunctie krijgen. Je spreekt dan van **geritualiseerd gedrag**. Bij zoogdieren noem je de bereidheid tot paring **bronst** in plaats van balts.

SOLITAIR, SAMEN OF IN GROEPEN

Bij veel diersoorten leven de individuen onafhankelijk van elkaar (solitair) en vindt alleen tijdens de balts en de paring paarvorming plaats. Vaak verzorgt alleen het vrouwtje of alleen het mannetje de eieren en de jongen (broedzorg). Bij sommige diersoorten worden paren gevormd voor een of meer seizoenen, soms zelfs voor het leven (monogaam). Dit komt voor bij sommige soorten vissen, bij veel soorten vogels en bij enkele zoogdieren (zie afbeelding 65). Bij veel vogelsoorten werken het mannetje en het vrouwtje van een paar samen bij de nestbouw, het broeden, de verzorging en bescherming van de eieren en de jongen, het voedsel zoeken, enzovoort. Leven in groepen komt voor bij insecten, vissen, vogels en zoogdieren.

► **Afb. 65** Sommige diersoorten vormen paren voor het leven.

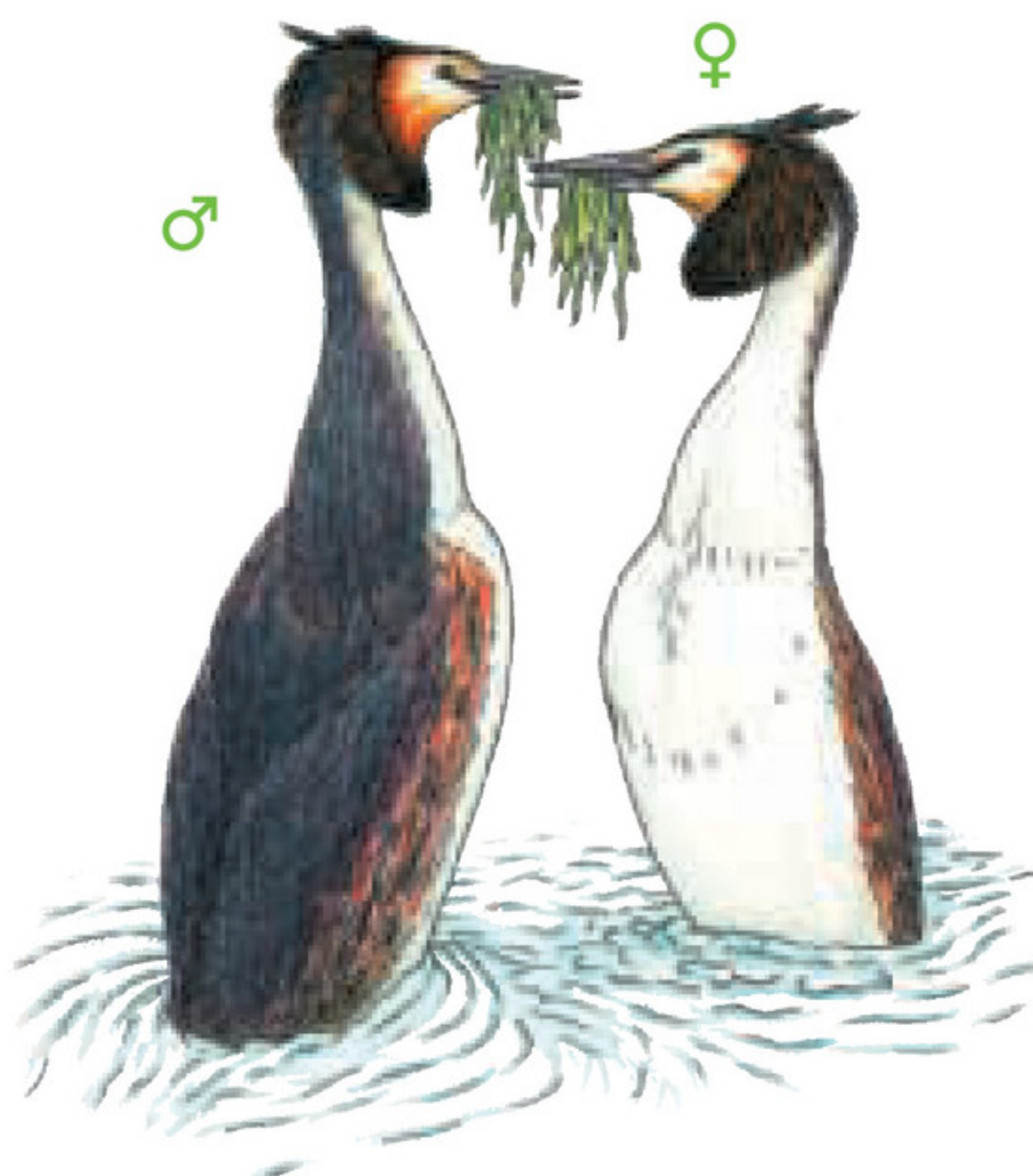


1 zwanen



2 gibbons

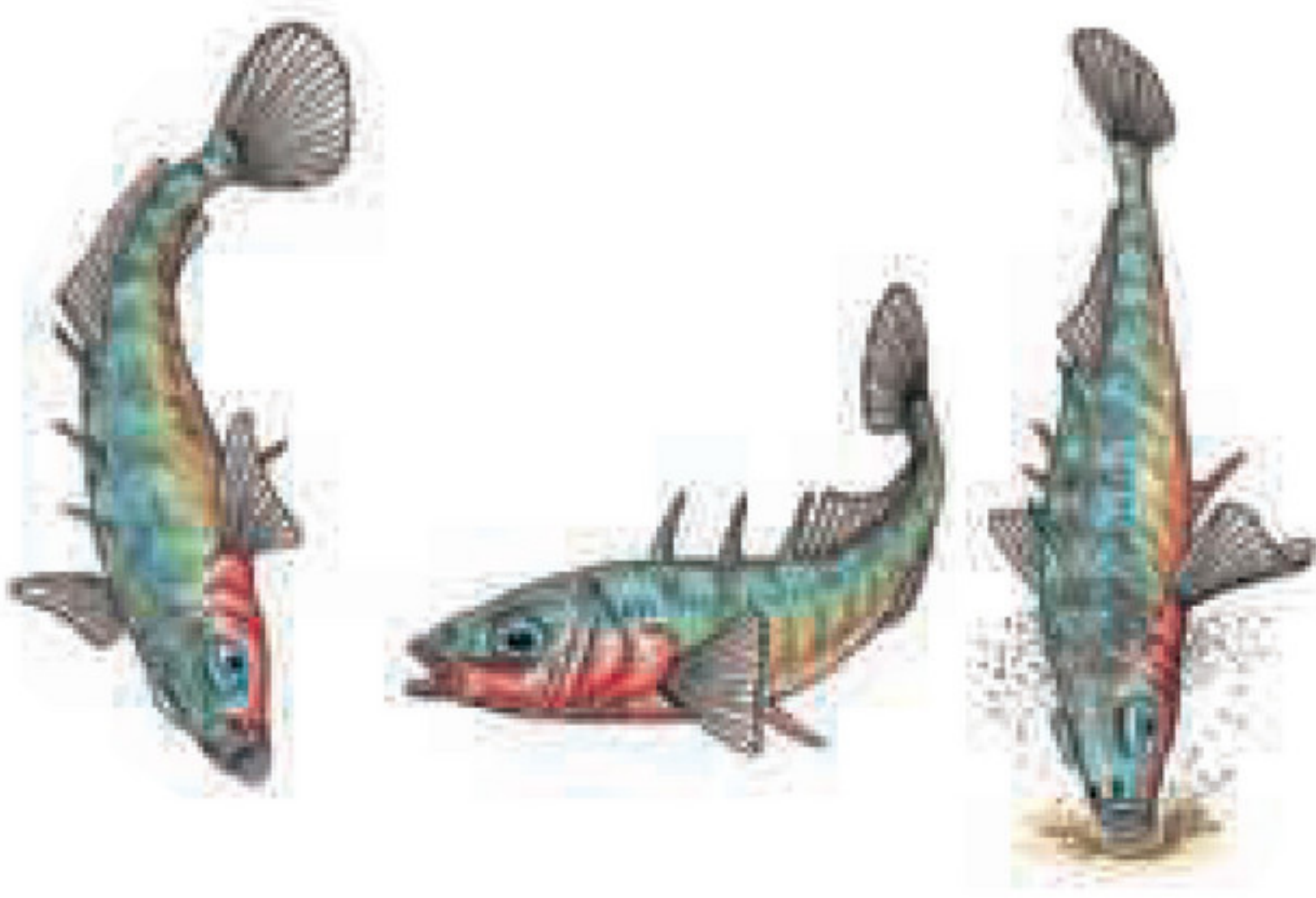
▼ **Afb. 66** Baltsgedrag bij futen (pinguïndans).



opdrachten

- 69 a** Een merelvrouwtje reageert niet op de balts van een mannetjeslijster. Leg uit waarom niet.
- b** In afbeelding 66 is het baltsgedrag van futen weergegeven. Welke functie heeft de balts voor dit paar futen?
- c** Flirten bij mensen heeft een soortgelijke functie en vorm als bronst bij dieren. Leg dit uit.
- 70** Bij vissen komt broedzorg door alleen het mannetje relatief vaak voor. Bij vogels en zoogdieren zorgt meestal het vrouwtje hiervoor. Dit hangt samen met het type bevruchting en de verdere embryonale ontwikkeling. Leg dit uit.
- 71** Groepen tuimelaars hebben een manier gevonden om hun prooi, snel zwemmende vissen, te vangen. Al slaande op de zeebodem zwemt een van de tuimelaars in een cirkel rondom een school vissen en creëert zo een kring van modder. Op het moment dat deze dolfijn de kring sluit, slaat het dier hard met zijn staart in de kring met vissen. In paniek springen de vissen door de lucht omhoog uit de kring. De rest van de groep tuimelaars wacht rondom de modderkring de vissen met open bek op.
- a** Waarover is communicatie nodig tussen de groepsleden voor dit groepsgedrag?
- b** Dit groepsgedrag is zowel effectief voor het individu als adequaat voor de populatie. Leg dit uit.

▼ **Afb. 67** Conflictgedrag bij de stekelbaars.



TERRITORIUMGEDRAG EN CONFLICTGEDRAG

Bij veel diersoorten probeert elk mannetje een territorium af te bakenen. Door een territorium te vormen wordt een zekere hoeveelheid voedsel of ruimte veiliggesteld om nakomelingen groot te kunnen brengen. Een territorium vermindert daarnaast conflicten tussen soortgenoten. Door middel van **territoriumgedrag** verdedigt het mannetje dit gebied tegen binnendringende soortgenoten. Een soortgenoot die het territorium is binnengedrongen, wordt doorgaans aangevallen. Het verdedigende mannetje kan ook reageren door te vluchten. Veel dieren vertonen op de grens van hun territorium **dreiggedrag** als een indringer nadert.

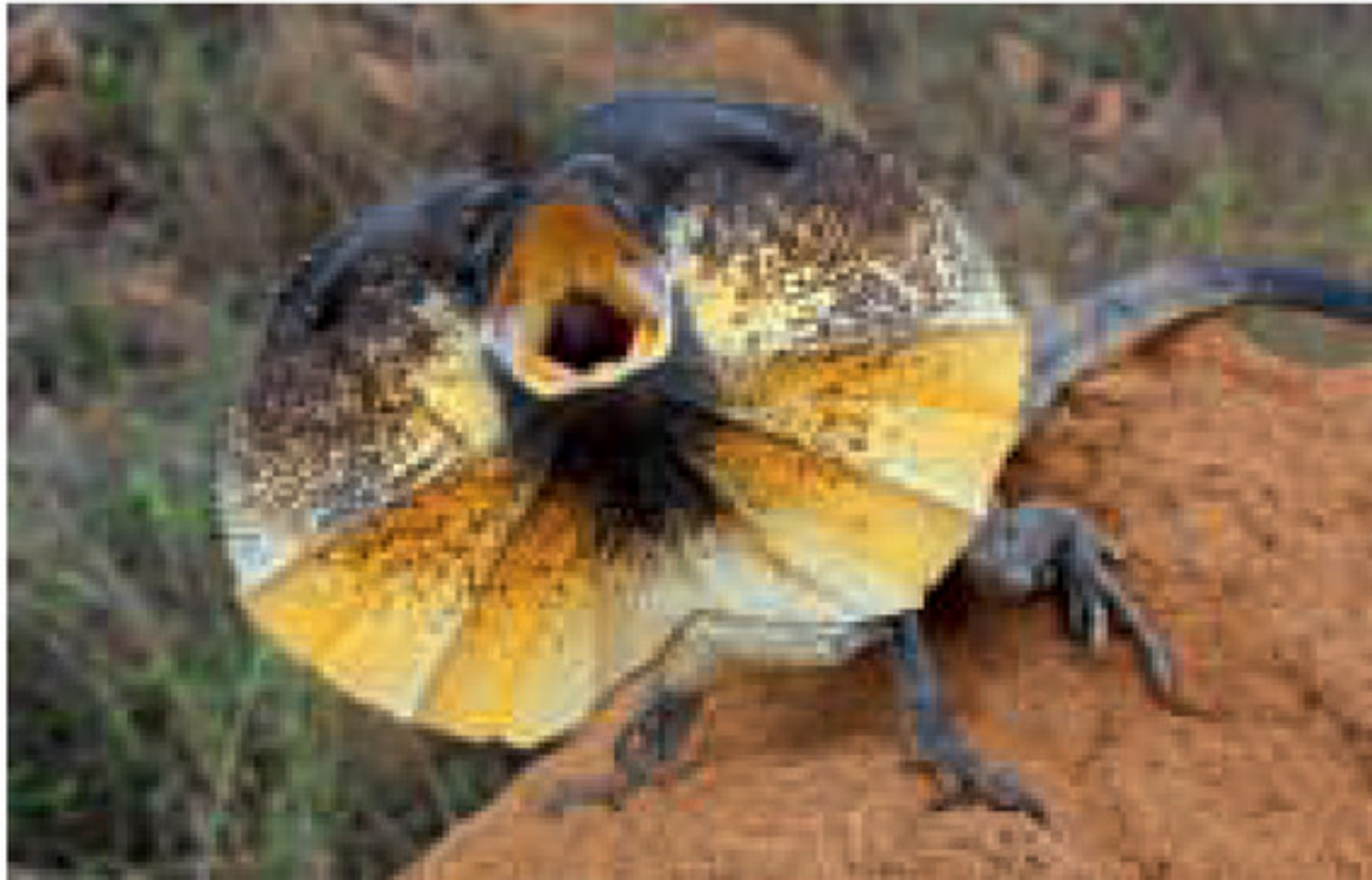
De stand van het lichaam van de stekelbaars bij de dreighouding (met de kop omlaag) is een handeling uit een ander gedragssysteem, namelijk het zandhappen bij de nestbouw (zie afbeelding 67). Je noemt dit type gedrag **overspronggedrag**.

Het zandhappen heeft niets met het verdedigen van het territorium te maken. Binnendringende stekelbaarsmannetjes blijken het zandhappen als zeer dreigend te ervaren en vluchten dan ook bijna altijd. Als de indringer niet vlucht voor deze dreighouding, gaat het dreigende mannetje ook werkelijk zandhappen.

Overspronggedrag lijkt zinloos gedrag, maar het heeft vaak een signaalfunctie. Het wordt veroorzaakt door een inwendig conflict tussen gedragssystemen, in het geval van het stekelbaarsje aanvalsgedrag en vluchtgedrag. Dit (inwendig) **conflictgedrag** ontstaat als voor meerdere gedragssystemen een even sterke motivatie bestaat.

opdrachten

▼ **Afb. 68** Dreiggedrag.



- 72 Dreiggedrag bij een kraaghagedis (zie afbeelding 68) vindt over het algemeen alleen plaats aan de grens van een territorium. Waardoor zal het niet midden in een territorium plaatsvinden?

- 73 Een kat die een prooi heeft gemist, krabt zich achter de oren (zie afbeelding 69).
- a Hoe heet dit gedrag?
 - b In een film komt een scène voor waarin de leiders van twee jeugdbendes elkaar uitdagen tot een gevecht. Zover komt het echter niet; het blijft bij dreigen. Vervolgens gaat de één uitvoerig zijn haren kammen en gaat de ander met zijn stiletto zijn nagels schoonmaken. Hoe heet dit gedrag?

▼ **Afb. 69** Hoe noem je dit gedrag?



RANGORDE

Bij dieren die in groepen leven, zoals wolven en bavianen, bestaat in de groep een duidelijke rangorde. Een **rangorde** is een volgorde binnen een populatie van dominant naar minst dominant. Bij kippen noem je de rangorde **pikorde**. Het is een manier om conflicten te voorkomen. Bavianen leven in groepen van enkele tientallen dieren. Bij een groep bavianen is de rangorde te zien als ze zich verplaatsen (zie afbeelding 70). Er zijn drie of vier dominante mannetjes. De dominante mannetjes hebben de hoogste concentratie testosteron in het bloed. Zij paren doorgaans het vaakst en hebben daardoor de grootste kans op nakomelingen. Bij gevaar beschermen de dominante mannetjes de zwangere vrouwtjes en de vrouwtjes met jongen. De dominante mannetjes (zwart) lopen rondom zwangere vrouwtjes en vrouwtjes met jongen (groen). Daaromheen lopen groepjes jonge dieren van verschillende leeftijden (geel). De buitenkant wordt gevormd door ondergeschikte mannetjes (oranje).

► **Afb. 70** Rangorde bij een groep bavianen.



▼ **Afb. 71** Gedrag van bavianen.



1 imponeergedrag



2 verzoeningsgedrag

Ondergeschikte dieren proberen vaak een hogere plaats in de rangorde te krijgen door gevechten uit te lokken. Het komt echter zelden tot gevechten op leven en dood. Vaak is dreiggedrag voldoende om een conflict te beëindigen. Bij het dreigen kunnen de dieren **imponeergedrag** vertonen: ze maken zich zo groot en indrukwekkend mogelijk (zie afbeelding 71.1). Tegenover het dreiggedrag van een dominant mannetje vertoont het ondergeschikte dier vaak **verzoeningsgedrag** (zie afbeelding 71.2). Het verzoeningsgedrag is een signaal dat de agressie van het dominante dier doet afnemen.

STATENVORMENDE INSECTEN

Sommige soorten insecten leven in **staten**. Dit zijn grote populaties met een sterke taakverdeling. Statenvormende insecten zijn bijvoorbeeld bijen, mieren en termieten. Een bijenstaat kan wel uit zestigduizend bijen bestaan. In elke bijenstaat komt een koningin voor (zie afbeelding 72). De koningin legt bevruchte en onbevruchte eieren. Uit bevruchte eieren ontwikkelen zich werkbijen. Uit de onbevruchte eieren ontstaan darren.



1 Koningin. Taak: legt de eieren.



2 Werkbij. Taak: verzamelt voedsel en verzorgt larven.



3 Dar. Taak: bevrucht de koningin.

► **Afb. 72** Taakverdeling bij honingbijen.

De meeste bijen in een bijenstaat zijn werkbijen. Dat zijn vrouwtjes bij wie de voortplantingsorganen niet tot ontwikkeling zijn gekomen. Werkbijen verzamelen voedsel, bouwen honingraten en verzorgen de larven (broedzorg). De populatie als geheel zorgt voor bescherming, voedselvoorziening en voortplanting binnen de staat. In de zomermaanden bevat een bijenstaat enkele honderden darren. Enkele van deze darren bevruchten de koningin. Wanneer dat is gebeurd, verjagen de werkbijen de darren uit de bijenstaat.

opdrachten

- 74** Waardoor ontstaan binnen een populatie wolven vaak geen ernstige gevechten?
- 75** Bij een baviaan die imponeergedrag vertoont, gaan de haren overeind staan (zie afbeelding 71).
Wat is hiervan de functie?
- 76 a** De pikorde speelt een rol bij de voortplanting: dominante hennen paren vaker dan minder dominante hennen. Een hen die werd geïnjecteerd met testosteron kreeg een hogere plaats in de pikorde. Leg dit uit.
- b** In een scharrelschuur met kippen komen regelmatig gevechten voor tussen hennen.
Waardoor ontstaat hier geen (duidelijke) rangorde?
- c** In een ren met tien kippen werd gedurende een bepaalde tijd genoteerd hoe vaak welke hen door een andere hen werd gepikt. In afbeelding 73 zie je het onderzoeksresultaat. De hennen zijn met hoofdletters aangeduid.
Welke hen is het meest dominant en welke hen staat onder aan de pikorde?
Leg je antwoord uit.

► **Afb. 73** Pikfrequenties bij kippen.

		pikkende hennen									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
gepikte hennen	A										
	B	22									
	C	8	29								
	D	18	11	6							
	E	11	21	11	12						
	F	30	7	6	21	8					
	G	10	12	3	8	15	30				
	H	12	17	27	6	3	19	8			
	I	17	26	12	11	10	17	3	13		
	J	6	16	7	26	8	6	12	26	6	

CONTEXT

Wetenschap

Testosteron maakt hyenavrouwtjes adequaat

▼ **Afb. 74** Een clan gevlekte hyena's.



Dominante hyenavrouwtjes hebben vooral in de draagtijd hoge testosteronconcentraties in hun bloed waardoor hun jongen sterk en agressief worden. Sommige hyenajongen zijn zo heetgebakerd dat ze hun nestgenoten doodbijten. De gevlekte hyena (*Crocuta crocuta*) is een roofdier en komt voor in grote delen van Afrika. Hyena's leven in groepen of clans waar de vrouwtjes hun hele leven trouw aan zullen blijven. Bij hyena's maakt het alfavrouwtje de dienst uit. De vrouwtjes zijn groter en agressiever dan de mannetjes. Het agressieve gedrag van de jongen speelt een belangrijke rol bij het ontstaan van de rangorde in de clan. Mannetjes zijn onderdanig aan de vrouwtjes. Ze gaan de vrouwtjes meestal uit de weg, behalve in de paartijd.

Agressieve hyena's produceren meer succesvolle nakomelingen doordat ze beter zijn in het vangen van prooidieren en het weggagen van voedselconcurrenten. Een nadeel van de hoge testosteronconcentratie bij vrouwtjes is dat de geslachtsorganen vermannelijken.

Moeders met een hoge testosteronconcentratie tijdens de zwangerschap hebben jongen die in het nest vaak oefenen in het beklimmen van hun broertjes en zusjes. Hierdoor hebben zonen van het alfavrouwtje een voordeel bij het paren.

opdracht

- 77 Testosteron is het mannelijke geslachtshormoon en speelt in verschillende levensfasen een belangrijke rol in gedrag en ontwikkeling.
- Geef twee voorbeelden uit de tekst waaruit blijkt hoe gedrag en/of lichamelijke kenmerken van hyenajongen door de testosteronconcentratie van hun moeder wordt beïnvloed.
 - Waardoor leidt een hoge testosteronconcentratie tot adequaat gedrag bij de gevlekte hyena?
 - Zonen van alfavrouwtjes zouden door hun gedrag in het nest later voordeel hebben bij het paren.
Welke leerstrategie heeft bij dit gedrag een rol gespeeld?
 - Welk voordeel hebben de hyenavrouwtjes van het samenleven in een clan?

Leerdoelen

- Je kunt overeenkomsten en verschillen in het gedrag van dieren en mensen beschrijven.

7

Gedrag bij mensen

De mens is niet de enige die een goede grap op zijn tijd kan waarderen. Net als de mens kan een bonobo tien seconden lang uitademen en lachen. De mensapen lachen zich slap wanneer ze met elkaar worstelen of elkaar kietelen.

VERSCHILLEN EN OVEREENKOMSTEN

Rond 98% van het DNA van mensen en mensapen komt overeen. Net als mensen communiceren mensapen met elkaar, zijn ze zich van zichzelf en anderen bewust en dragen kennis aan elkaar over.

Het gedrag bij dieren en mensen kent veel overeenkomsten wat betreft de reacties op prikkels. Het gedrag van mensen en dieren wordt beïnvloed door erfelijke en aangeleerde eigenschappen. Leerprocessen en bewuste keuzen spelen bij de mens een veel belangrijkere rol dan bij dieren.

ERFELIJKE EIGENSCHAPPEN

Tijdens de opvoeding in de eerste levensjaren geven ouders (verzorgers) en kind veel signalen aan elkaar. Deze signalen worden meestal onbewust gegeven. Geluidjes maken, oogcontact en lichamelijk contact (knuffelen) tussen ouders en kind zijn sterk op elkaar afgestemd. Door communicatie leert een kind zich sociaal te ontwikkelen.

Gedrag dat grotendeels wordt bepaald door erfelijke factoren zijn onder andere het zuiggedrag van baby's en de gelaatsuitdrukkingen bij emoties als vreugde, woede en angst. Dit laatste blijkt bijvoorbeeld uit het gedrag van kinderen die blind en doof zijn geboren. Deze kinderen vertonen dezelfde gelaatsuitdrukkingen als mensen die wel kunnen zien en horen.

► **Afb. 75** Verschillende gelaatsuitdrukkingen.



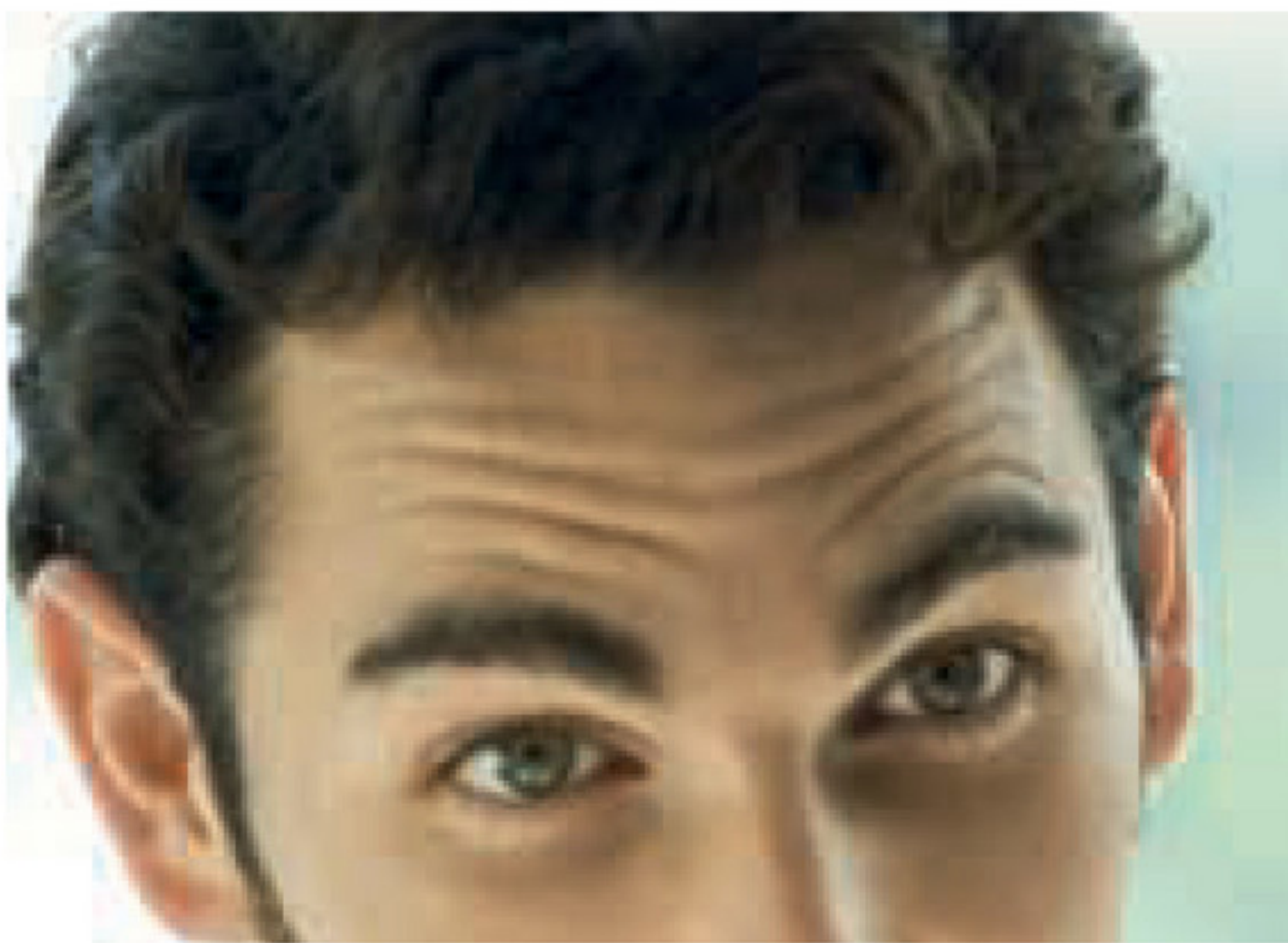
▼ **Afb. 76** De wenkbrauwgroet in verschillende culturen.



1 bij een Balinese



2 bij een Papoea



3 bij een Fransman

Ook blijken veel gelaatsuitdrukkingen (zie afbeelding 75) die tijdens sociale contacten tussen mensen worden vertoond, in vrijwel alle culturen voor te komen. Zo komt bijvoorbeeld de wenkbrauwgroet (zie afbeelding 76) in alle culturen voor. Bij deze begroeting worden de wenkbrauwen kort opgetrokken, meestal gevolgd door een glimlach.

opdracht

- 78 a** Is de wenkbrauwgroet gedrag dat grotendeels wordt bepaald door erfelijke factoren of door leerprocessen? Leg je antwoord uit.
- b** Gelaatsuitdrukkingen zijn af te leren, te simuleren of te maskeren. Leid hieruit een hypothese af over hoe erfelijke informatie over gedrag tot uiting komt in de structuur van de hersenen.

LEERVERMOGEN

Leervermogen is het vermogen van een dier of mens tot gedragsverandering. Vergeleken met dieren hebben mensen een groot leervermogen. De hersenen spelen hierbij een belangrijke rol. Opvoeding en onderwijs kunnen de motivatie voor het toepassen van verworven kennis tot effectiever en adequaat gedrag stimuleren. De meeste mensen weten bijvoorbeeld hoe ze veiliger of gezonder kunnen leven maar passen die kennis niet altijd toe. Door het grotere leervermogen kunnen mensen hun gedrag in veel sterkere mate aanpassen aan hun omgeving en hun omgeving aan hun wensen en behoeften, dan dieren.

De hersenen stellen mensen in staat om een denkbeeldige voorstelling van de omgeving te maken en dat beeld aan te passen. Je kunt je bewust zijn van (het verschil tussen) de situatie, gedachten en emoties van anderen en jezelf, en je kunt je hiervan een beeld vormen (**empathie** of inlevingsvermogen). Dit speelt een rol bij medeleven en competitie. Een ondergeschikte aap verstopt de banaan voor de dominante aap, omdat hij doorheeft dat hij zijn banaan zal gaan afpakken. Empathie is aangetoond bij mensapen, olifanten en prairiewoelmuizen. Mensen steunen en troosten elkaar uit medeleven, zelfs zonder dat er een nauwe genetische verwantschap bestaat.

COMMUNICATIE

Mensapen communiceren met elkaar door gebaren en door keelgeluiden. Biologen hebben geprobeerd om chimpansees en bonobo's te leren praten, maar dat is niet gelukt. De bouw van de mondkeelholten van apen zijn niet geschikt om te kunnen leren praten.

De symbooltaal van mensen heeft veel meer uitdrukkingsmogelijkheden dan de signaaltaal van dieren. Dat mensen veel van elkaar leren, wordt onder andere mogelijk gemaakt door taal. Bovendien kan de mens gebruikmaken van geschreven taal om informatie vast te leggen. De hersenen besturen de spraak en de handen. Zonder de fijne motoriek van stem en handen zijn taal en cultuur onmogelijk. Mensen kunnen afbeeldingen en taal gebruiken om denkbeelden over zichzelf, de natuur en de samenleving uit te beelden en met elkaar uit te wisselen.

MOREEL BEWUSTZIJN

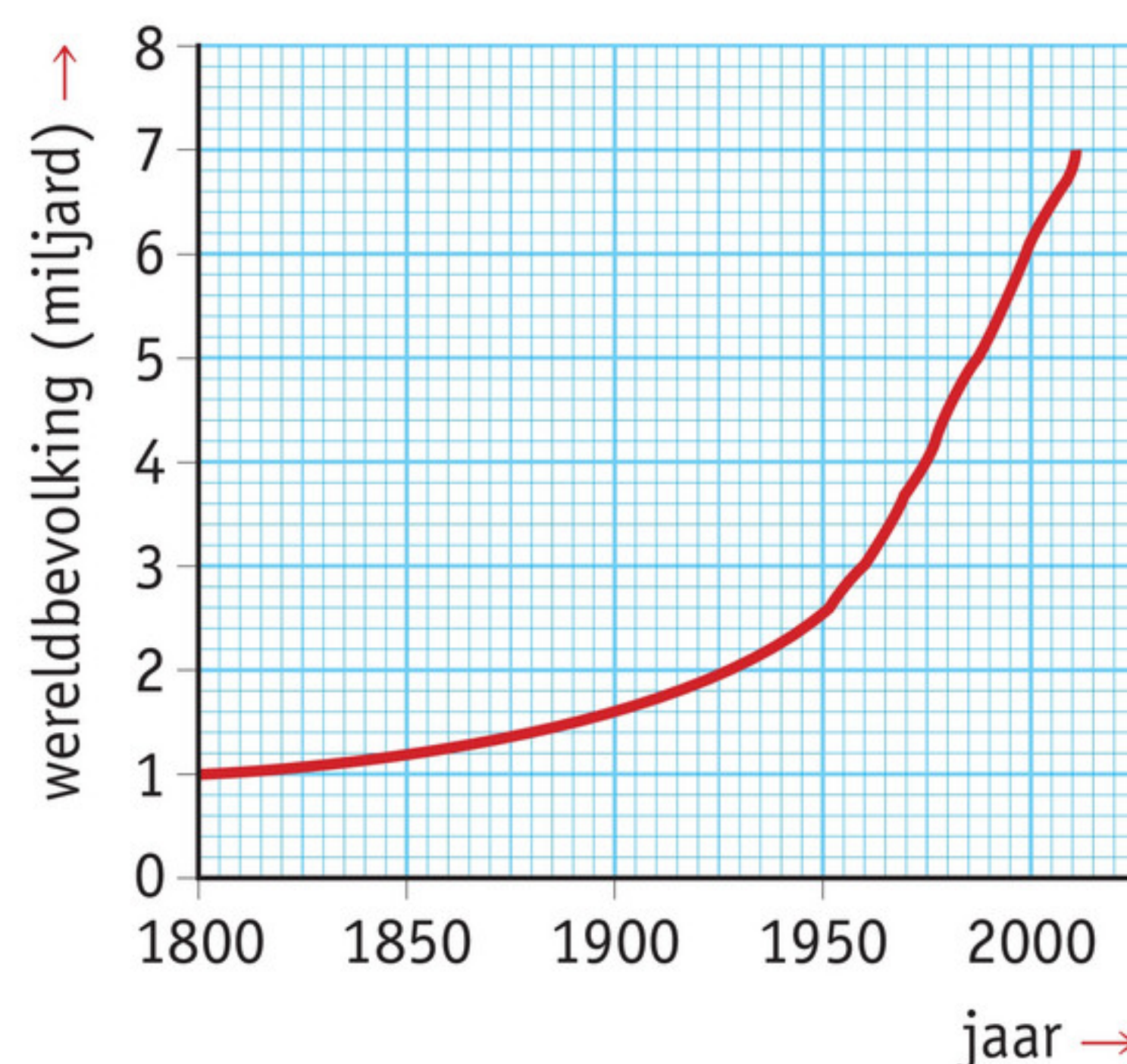
Mensen kunnen nadenken over hun gedrag en hun gedrag beoordelen (**moreel bewustzijn**). Door de overeenkomsten en verschillen met dierlijk gedrag in te zien, kunnen we typisch menselijke eigenschappen herkennen. Mensen kunnen betere keuzen maken als ze zich bewust zijn van de interacties tussen henzelf en hun omgeving. Hieruit ontstaan gedragsregels, normen en waarden en een basis voor maatschappelijke organisatie en cultuur. Cultuur heeft te maken met de manier waarop mensen met de natuur, met elkaar en met zichzelf omgaan.

Normen zijn gedragsregels waarvan veel mensen vinden dat je eraan moet houden. Een voorbeeld hiervan is: je mag niet skimmen. Normen zijn gebaseerd op waarden. Waarden zijn uitgangspunten die mensen gebruiken bij de inrichting van hun leven. Eerlijkheid is een waarde, en ook respect, klaarstaan voor anderen, rechtvaardigheid en individuele vrijheid zijn waarden. Normen en waarden kunnen via opvoeding en onderwijs aan nieuwe generaties worden overgedragen. Normen en waarden zijn sterk bepaald door de cultuur waarvan iemand deel uitmaakt. Ook chimpansees hebben een gevoel voor rechtvaardigheid, zelfs als niet zichzelf maar anderen worden benadeeld, zullen ze daar iets van 'zeggen'.

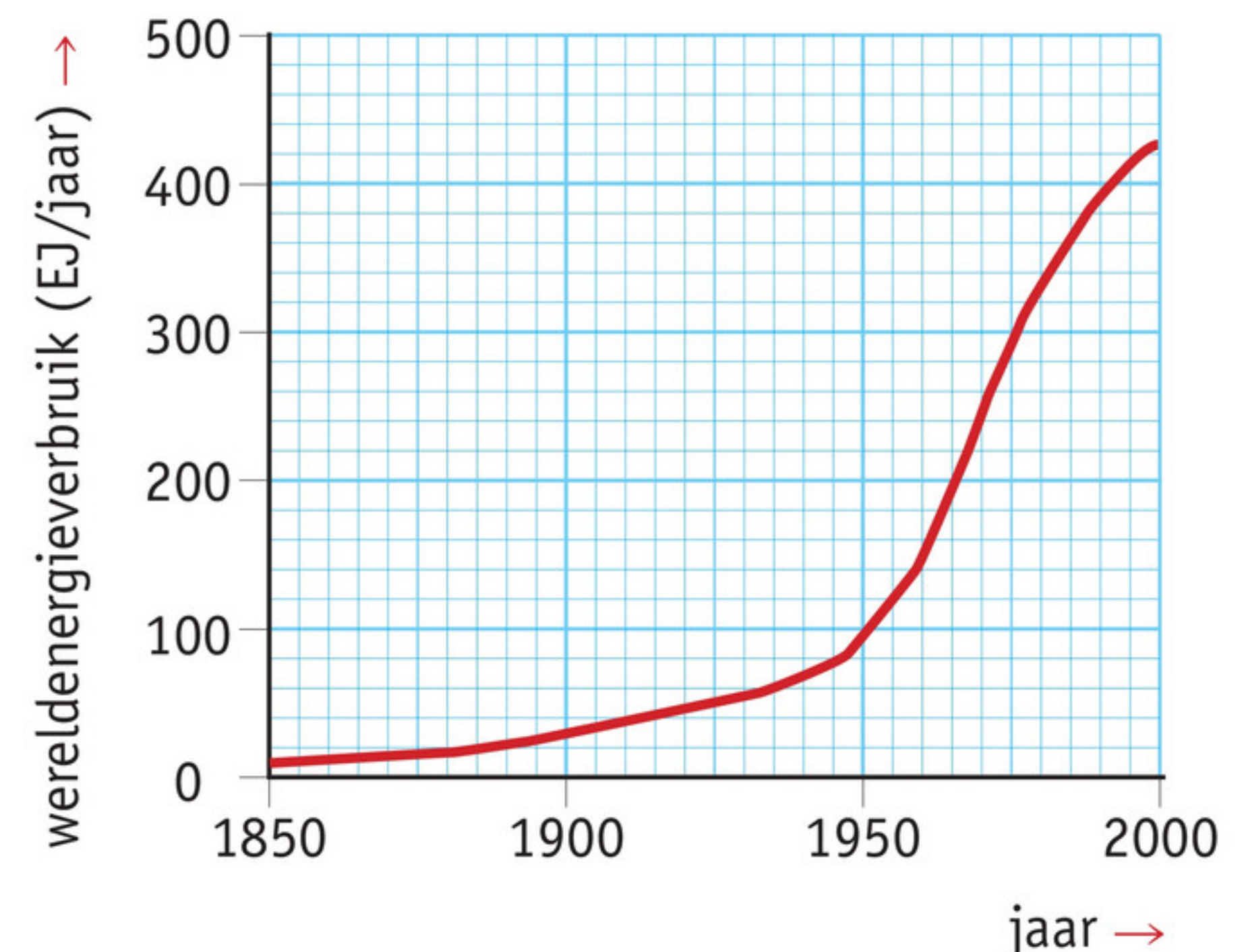
opdrachten

- 79** Hoe beïnvloedt de hersengrootte de overlevingskans van een dier?
- 80 a** In de Nederlandse cultuur is het normaal dat jongens en meisjes gemengd zwemmen.
Is dit een waarde of een norm? Licht je antwoord toe.
- b** Geef een voorbeeld van een gedragsregel die de zwakkeren in het verkeer respecteert.
- 81** De biologische en culturele ontwikkeling van de mens heeft geleid tot een immens voortplantingssucces. Ondanks enkele grote oorlogen groeide de wereldbevolking van ongeveer een miljard rond het jaar 1800 tot zeven miljard mensen in 2011 (zie afbeelding 77.1). In dezelfde tijd steeg het gebruik van voornamelijk fossiele energie (zie afbeelding 77.2). De groei van zowel de populatie mensen als het energieverbruik veroorzaakt een klimaatverandering.
- a** Zijn het voortplantingssucces en het toegenomen energiegebruik ook adequaat gedrag?
- b** Welke rol kan menselijke gedragsverandering spelen om dit vraagstuk op te lossen?

► Afb. 77



1 groei van de wereldbevolking tussen 1800 en 2011



2 wereldenergieconsumptie
(1 EJ = 1 exajoule = 10^{18} joule)

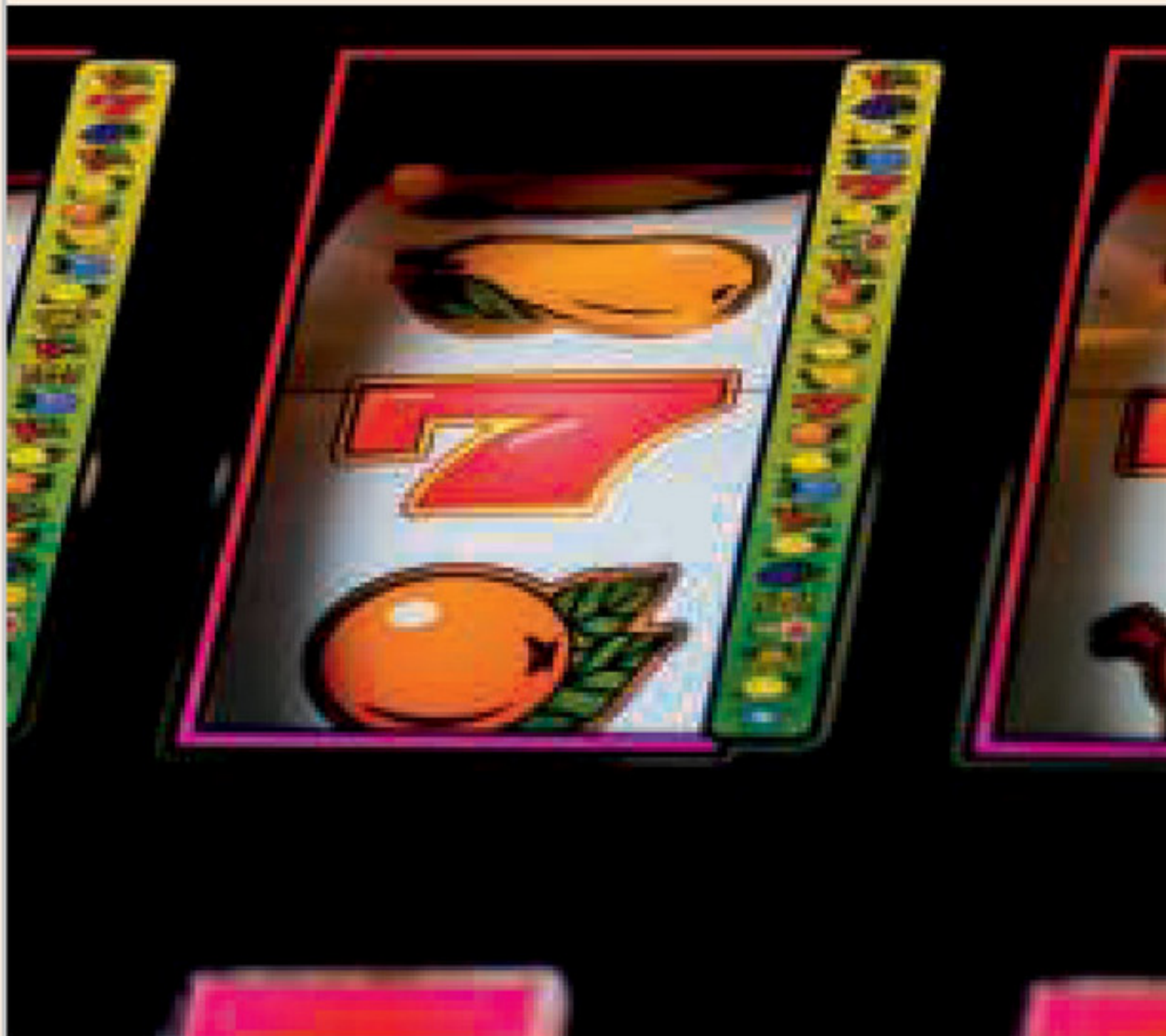
CONTEXT

Beroep

Ons brein is een geluksmachine

Ons brein is niet gemaakt voor beslissingen over auto's, hypotheek en repen chocolade. We denken dat ons koopgedrag gebaseerd is op rationele overwegingen, maar dat is niet zo.

▼ **Afb. 78** Geluksmachine.



Koopgedrag hangt af van het 'beloningsdeel' en de 'pijnknoop' in ons brein. De balans tussen beide hersenstructuren is doorslaggevend voor je beslissing: 'hoe meer het beloningsdeel wordt geprikkeld, des te meer pijn je in je portemonnee wilt verdragen'. Neuromarketeers lezen met een fMRI-scanner de reactie van de hersenen op een reclameboodschap en daarmee kunnen ze het koopgedrag van mensen voorspellen. Zij meten hoe belonend iets is, of het vertrouwen oproept, lust, betrouwbaarheid of angst. 'Deze oerinstincten zijn nog steeds relevant, omdat ons brein evolutionair gezien nauwelijks verschilt van het brein dat de mens een miljoen jaar geleden had. Je kunt lijstjes met voors en tegens maken, maar de hersenen geven die informatie een emotionele waarde in plaats van een rationele. De emotie geeft uiteindelijk de doorslag. Gedachten vormen maar een klein onderdeel van wat we allemaal zijn: een vat vol associaties, emoties en herinneringen. Je hele genetische achtergrond. Dát is wie je werkelijk bent.' Naar: Victor Lamme, in: *Consumentengids*, juli 2012.

opdracht

- 82 a** Is het maken van een reclameboodschap voor radio of televisie een emotioneel of een rationeel proces? Beargumenteer je antwoord.
- b** Geef een voorbeeld van rationeel koopgedrag bij jezelf.
- c** Ben je het eens met het mensbeeld dat geschetst wordt in de zinnen: 'Je hele genetische achtergrond. Dát is wie je werkelijk bent.'? Beargumenteer je antwoord.

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Doe online de verrijkingsstoffen, flitskaarten en Test Jezelf.
- Ga in het boek verder met de Samenhang en de Examentrainer.

Leerdoelen

- Je kunt het voorkomen van empathie bij prairiewoelmuizen toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair en vorm-functiedenken toepassen op het empathisch vermogen van de prairiewoelmuis.

Prairiewoelmuizen zoeken troost

Empathie is niet alleen een menselijke eigenschap. Ook prairiewoelmuizen troosten elkaar als het even tegenzit. Dat blijkt uit onderzoek bij prairiewoelmuizen door een team biologen, onder wie de Nederlandse mensapen-deskundige Frans de Waal.

Tot nu toe was troostgedrag alleen nog aangetoond bij intelligente dieren zoals mensapen en olifanten. De vondst van De Waal en collega's bewijst dat ook dieren met een klein hersenvolume in staat zijn tot empathie. De onderzoekers lokten het troostgedrag uit door twee prairiewoelmuizen uit hetzelfde kooitje van elkaar te scheiden. Eén van de twee kreeg lichte stroomschokjes toegediend. Na de hereniging met het kooimaatje werd het gestreste knaagdier uitgebreid door zijn kooigenoot gevlooid en gelikt. Bij gescheiden kooigenoten waar géén stressvolle schokken werden toegediend, was de reünie een stuk minder uitbundig.

Liesbeth Sterck, hoogleraar bij de Universiteit van Utrecht en voorzitter van de Nederlandse Vereniging voor gedragsbiologie, vermoedt dat dit natuurlijke empathische vermogen een evolutionair voordeel biedt voor dieren die langdurige banden met soortgenoten aangaan, zoals de monogame prairiewoelmuis. Het troostgedrag werd niet waargenomen bij graslandwoelmuizen. Die soort is nauw verwant aan de prairiewoelmuis maar individueler en niet monogaam.

Wanneer de onderzoekers de werking van oxytocine bij de prairiewoelmuizen blokkeerden met een injectie, was het troostgedrag snel voorbij. Ook bij mensen lijkt het hormoon en neurotransmitter oxytocine een rol te spelen in empathisch gedrag. Proefpersonen die de neurotransmitter krijgen toegediend, worden meteen een stuk vriendelijker voor hun omgeving.

Frans de Waal wijst op een ander belang van dit onderzoeksresultaat. Uit ander onderzoek blijkt dat oxytocine wellicht de sociale betrokkenheid van mensen met autisme kan vergroten. De prairiewoelmuis is een ideaal proefdier voor neurologisch onderzoek naar oxytocine en empathie. Bij apen en mensen is dat veel lastiger en bovendien controversieel.

Bron: <http://www.volkskrant.nl/wetenschap/ook-knaagdieren-blijken-empathie-te-bezitten~a4229881/> (januari 2016).

► **Afb. 1** Prairiewoelmuis.



opdrachten

- 1 Zet de begrippen bij het juiste organisatieniveau. Kies uit: *empathie* – *hersenvolume* – *individu* – *mens met autisme* – *neurotransmitter* – *oxytocine* – *paarvormend* – *sociale betrokkenheid* – *troostgedrag*.

Organisatieniveau	Begrip
Biosfeer	-
Ecosysteem	-
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

- 2 a Welke betekenis heeft het begrip ‘empathie’ in de tekst?
 b Is de uitspraak: ‘Prairiewoelmuizen troosten elkaar als het even tegenzit’, ethologisch correct? Licht je antwoord toe.
- 3 a Is het weergegeven onderzoek een voorbeeld van een beschrijvend of een hypothesevormend onderzoek?
 b Wat was de onderzoeksvraag?
 c Aan welke voorwaarde moet, naast de controleproef, ook voldaan zijn voor een betrouwbaar resultaat van dit onderzoek?
 d Uit welke waarnemingen blijkt dat de prairiewoelmuizen elkaar ‘troosten’?
- 4 a Leeft de prairiewoelmuis voornamelijk solitair, in paren of in groepen?
 b Verklaar het evolutionaire voordeel van de eigenschap empathie bij de prairiewoelmuis.
- 5 Bij welke relaties tussen mensen zorgt het hormoon oxytocine voor versterking van de band?
- 6 Welk maatschappelijk nut kan onderzoek naar empathie en de werking van oxytocine bij prairiewoelmuizen hebben?

Practica

▼ Afb. 1

BIOLOGISCHE TECHNIEK		EEN ETHOGRAM MAKEN
Doel	Een ethogram is een lijst met objectieve beschrijvingen van de handelingen die bij een diersoort kunnen voorkomen.	
Werkwijze	Observeer de handelingen uit het gedragssysteem van enkele dieren die representatief zijn voor de soort. – Maak een tabel met drie kolommen: Handeling, Afkorting, Beschrijving. – Noteer in de eerste kolom een woord dat de handeling beschrijft. – Noteer in de tweede kolom een afkorting voor het gekozen woord. – Noteer in de derde kolom de objectieve beschrijving van het gedrag.	

▼ Afb. 2

BIOLOGISCHE TECHNIEK		EEN PROTOCOL MAKEN
Doel	Een protocol is een overzicht van de achtereenvolgens waargenomen handelingen van een dier gedurende een bepaalde periode. Aan de hand van een protocol kun je uitspraken doen over het gedrag van een dier.	
Werkwijze	Observeer gedurende een bepaalde tijd, bijvoorbeeld vijf minuten of een uur, het gedrag van een dier. – Maak een tabel met de tijden. – Noteer bij elk tijdstip de op dat moment voorkomende handeling. Gebruik daarbij de afkortingen uit het ethogram.	

practicumopdracht 1

MATERIAAL

- spiegel (eventueel)
- horloge, smartphone of stopwatch

De pupilreflex

» BASISSTOF 2

De pupilreflex regelt de hoeveelheid licht die op het netvlies valt. In deze practicumopdracht onderzoek je de werking van de pupilreflex. Je kunt deze opdracht alleen uitvoeren of met zijn tweeën.

METHODE

- Houd een minuut lang een hand voor een van je ogen. Haal dan je hand weg van dit oog.
- Als je alleen werkt, kijk je in de spiegel naar wat er gebeurt met de pupilgrootte van beide ogen direct na het wegnemen van je hand. Als je met zijn tweeën werkt, kijkt de ander wat er met de pupilgrootte gebeurt, direct na het wegnemen van je hand.

RESULTAAT

Beantwoord de volgende vragen.

- 1 Welke veranderingen van de pupilgrootte heb je waargenomen?
- 2 Is de reflexboog van de pupilreflex voor beide ogen gescheiden of valt deze gedeeltelijk samen? Leg je antwoord uit.

practicumopdracht 2

MATERIAAL

- koeienoog
- bakje of petrischaal
- scalpel (scherp mesje)
- prepareernaald
- pincet
- horlogeglas
- objectglas
- schaar
- handschoenen
- tissue
- papier met tekst

Ontleden van een koeienoog

BASISSTOF 2

De (inwendige en uitwendige) bouw van koeienogen komt in veel opzichten overeen met mensenogen. Maar er zijn ook enkele verschillen. In deze practicumopdracht leer je die verschillen herkennen en verklaren.

METHODE

Onderzoek de uitwendige bouw van het oog.

- Doe de handschoenen aan voor je met je werk begint.
- Leg het oog in een bakje of petrischaal.
- Maak een schematische tekening van de voorzijde van het koeienoog.
- Benoem de onderdelen: bovenste ooglid, onderste ooglid, harde oogvlies, iris (met pupil), traanbuis en traanklier.
- Bekijk het oog nu van de achterzijde. Leg het oog zo neer dat de bovenkant van het oog naar boven ligt.
- Maak een schematische tekening van de achterzijde van het koeienoog.
- Benoem de onderdelen indien mogelijk: oogspieren, ooglidspier, oogzenuw en vetweefsel. Vaak zijn het vetweefsel rond het oog en de oogspieren verwijderd.
- Verwijder indien nodig het vet en de spieren die de oogbol omgeven, zonder de oogbol te beschadigen. Gebruik hiervoor een scalpel, schaar en pincet. Als het ‘wit van de ogen’ rood ziet, is dit niet het harde oogvlies zelf dat rood wordt. Het zijn de bloedvaten die in het dunne laagje bindweefsel rondom de oogbol liggen. Het harde oogvlies zelf heeft geen bloedvaten.

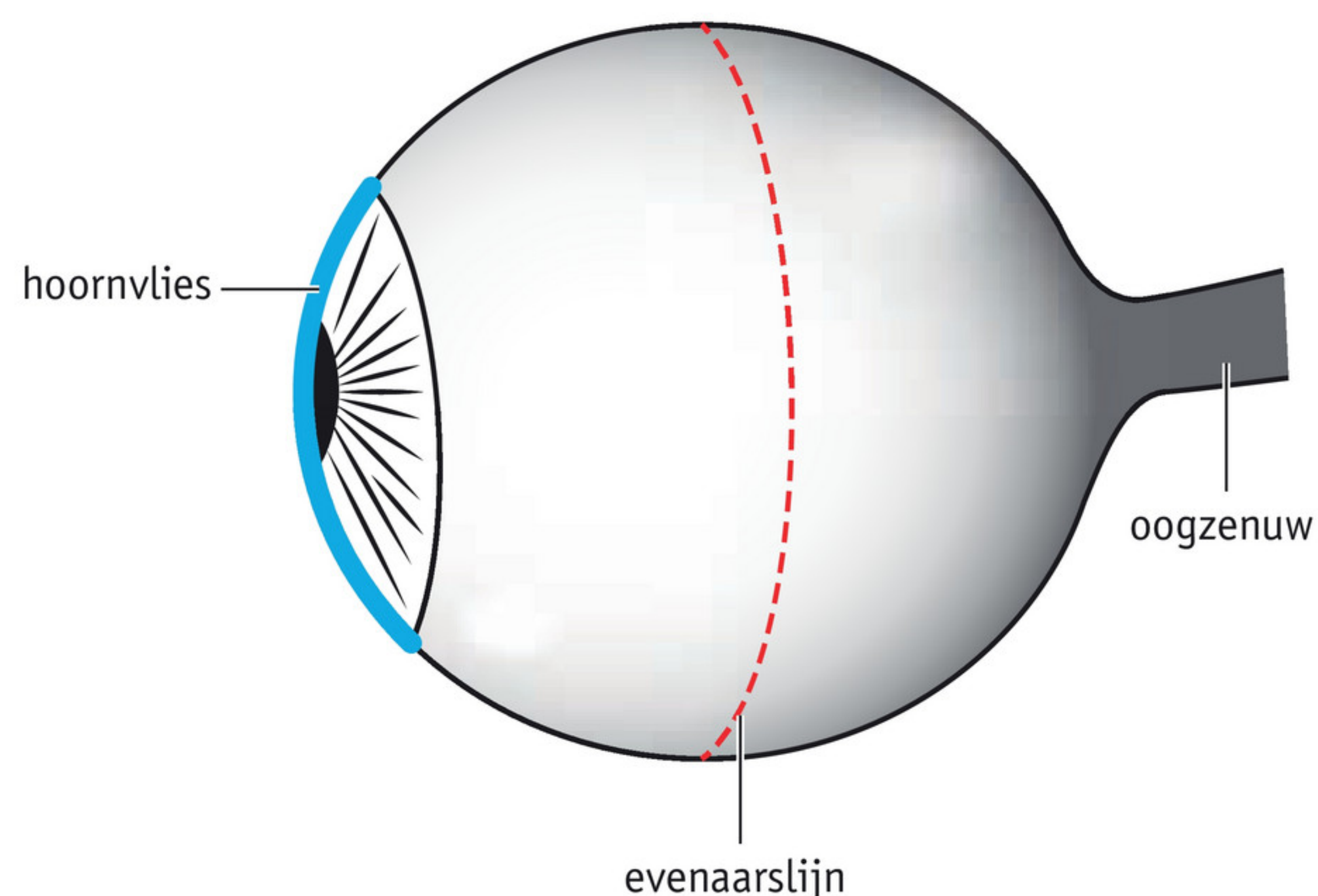
Beantwoord de volgende vragen.

- 1 Waar zit de oogzenuw: in het midden van het oog of ernaast?
- 2 Heb je een rechteroog of linkeroog gekregen? Leg je antwoord uit.

Onderzoek nu de inwendige bouw van het oog.

- Het harde oogvlies is echt hard. Prik (voorzichtig) met een prepareernaald in het harde oogvlies.
- Snijd het harde oogvlies door over de evenaarslijn (zie afbeelding 3). Maak eerst voorzichtig een snede met behulp van het scalpel en werk dan verder met de schaar. Zorg ervoor dat je het glasachtig lichaam niet beschadigt.
- Tijdens het snijwerk komen het doorzichtige glasachtig lichaam en de lens los. Verwijder ze voorzichtig uit de twee ‘kommetjes’ die ontstaan. Leg ze op een horlogeglas.

► **Afb. 3** Een oog (schematisch).



- In het kommetje met de oogzenuw ligt een doorzichtig vlies uitgespreid: het netvlies. Daaronder zie je het vaatvlies als een zwart glanzende laag. Het vaatvlies is zwart aan de kant van het harde oogvlies. Pel dit voorzichtig af.
- Tussen het netvlies en het vaatvlies zit bij koeien (ook bij bijvoorbeeld herten en katten) een blauw gekleurde spiegelende laag: het *tapetum lucidum*. Maak een schematische tekening van de binnenzijde van de achterste ooghelft.
- Benoem de onderdelen: netvlies, vaatvlies en *tapetum lucidum*.
- In het kommetje met het hoornvlies zie je (als het oog vers is) dat het vaatvlies vooraan vrijkomt van het harde oogvlies en overgaat in twee structuren:
 - naar binnen toe het zwarte straalvormige lichaam;
 - naar buiten toe het gepigmenteerde regenboogvlies (iris) met een ellipsvormige pupil.
- Bekijk nu de doorzichtige delen die op het horlogeglas liggen. Het grootste en slapste deel is het glasachtig lichaam en het kleinste deel is de lens. Haal ze zorgvuldig los van elkaar. Soms zitten er nog resten van het straalvormig lichaam en de lensbandjes vast aan de ooglenzen. Bij een vers oog kun je de lens vastpakken met een pincet.
- Leg de ooglenzen op een objectglas en leg deze op een stuk papier met tekst.

RESULTAAT

- twee schematische tekeningen van de uitwendige bouw van het oog
- een schematische tekening van de inwendige bouw van het oog (binnenzijde van de achterste ooghelft)

Beantwoord de volgende vragen.

- 3** Wat is de functie van de zwart glanzende laag in het vaatvlies?
- 4** Het *tapetum lucidum* kaatst licht terug.
Wat kun je afleiden uit het feit dat koeien een *tapetum lucidum* hebben?
- 5** Een koe heeft een ellipsvormige pupil en de mens heeft een ronde pupil.
Hoe kun je dit verschil verklaren? Denk daarbij ook aan de stand van de ogen van een koe en een mens.
- 6** Hoe zie je de letters als je de lens op een stuk papier met tekst legt? Leg je antwoord uit en betrek hierbij de vorm van de lens.

practicumopdracht 3

MATERIAAL

- schrijfmateriaal (papier en potlood)
- klembord
- stopwatch (of horloge met secondeaanduiding)
- verrekijker

Beschrijvend ethologisch onderzoek

» BASISSTOF 3

In deze practicumopdracht voer je in tweetallen een gedragsonderzoek uit. Je kunt het gedrag van een huisdier of een dier in een dierentuin of boerderij onderzoeken. Je kunt ook gebruikmaken van een film. Overleg met je docent welk dier je gaat onderzoeken en waar je waarnemingen gaat doen.

ONDERZOEKSVRAAG

Formuleer een onderzoeksvraag die je wilt beantwoorden. Bijvoorbeeld: ‘Komen de handelingen van het voedingsgedrag van het dier altijd in een vaste volgorde voor?’

METHODE

- Bestudeer het dier dat je wilt onderzoeken en maak een ethogram van de handelingen die je waarneemt.
- Bestudeer het gedrag van het dier dat je wilt onderzoeken en maak een protocol van het waargenomen gedrag.
- Verdeel de taken:
 - één leerling geeft telkens aan wanneer de tijd (bijvoorbeeld vijf of dertig seconden) om is;
 - één leerling noteert de afkortingen van deze handelingen.

RESULTAAT

een ethogram en een protocol

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vragen en maak een verslag. Verwerk de resultaten en de vragen in je verslag.

- 1 Op welke wijze zou het onderzoek nauwkeuriger kunnen worden uitgevoerd?
- 2 Wat ging er goed? Wat kan een volgende keer beter?

Samenvatting

LEERDOEL 1 ►► BASISSTOF 1

Je kunt de werking van zintuigen beschrijven en de relatie van het zintuigstelsel met het zenuwstelsel beschrijven.

- Zintuigen ontvangen externe en interne prikkels.
- In zintuigcellen (receptoren) ontstaan onder invloed van prikkels impulsen.
 - Mechanische receptoren reageren bijv. op aanrakingen en geluid.
 - Chemische receptoren binden bepaalde moleculen uit de omgeving.
 - Proprioceptoren registreren veranderingen van de spierspanning of de stand van een lichaamsdeel.
- Zintuigen hebben een prikkel drempel die moet worden overschreden om een impuls te kunnen veroorzaken.
 - De prikkel drempel is de kleinste prikkelsterkte die een impuls veroorzaakt.
 - Adequate prikkel: de soort prikkel waarvoor de prikkel drempel van een zintuigcel het laagst is.
 - Adaptatie: aanpassing van de gevoeligheid van een zintuig bij een aanhoudende prikkelsterkte.

LEERDOEL 2 ►► BASISSTOF 2

Je kunt de delen van een oog beschrijven en hun functie toelichten.

- Harde oogvlies (wit): stevig vlies, geeft bescherming.
- Hoornvlies (doorzichtig): de voortzetting van het harde oogvlies aan de voorzijde.
- Iris (regenboogvlies): gekleurde deel (pigment) van het oog.
 - Pupil: opening in de iris.
- Vaatvlies: bevat veel bloedvaten, zorgt voor de voeding van een groot deel van het oog.
- Netvlies: binnenste laag van de wand van een oog met lichtreceptoren.
- Gele vlek: plaats in het centrum van het netvlies.
- Blinde vlek: plaats in het netvlies waar de oogzenuw het oog verlaat en de doorgang voor bloedvaten.
- Glasachtig lichaam (geleiachtig): houdt het netvlies op zijn plaats.
- Ooglens: bolle lens achter de iris en de pupil.

LEERDOEL 3 ►► BASISSTOF 2

Je kunt de beeldvorming door ooglenzen beschrijven en de pupilreflex toelichten.

- Het hoornvlies, de ooglens en het straalvormig lichaam zorgen ervoor dat een scherp beeld op het netvlies ontstaat.
 - Lichtstralen die een oog binnenvallen, worden gebroken door het hoornvlies en de ooglens.
 - Straalvormig lichaam: hierin liggen de accommodatiespieren (kringspieren).
 - De lenzen hangen met behulp van lensbandjes in de straalvormige lichamen.
- Accommoderen: de vorm (boller of platter) van de ooglenzen wordt aangepast aan de afstand waarop een voorwerp zich bevindt.
- Op het netvlies wordt een omgekeerd, verkleind beeld gevormd.
 - In de gezichtscentra in de grote hersenen wordt het beeld waargenomen.
- Bij lenzen wordt de ligging van het brandpunt (F) bepaald door de vorm van de lens.
 - Negatieve (holle) lenzen spreiden (divergeren) de lichtstralen.
 - Positieve (bolle) lenzen bundelen (convergeren) de lichtstralen.
 - Hoe boller een lens, hoe kleiner de brandpuntsafstand (f).
 - Bij een bolle lens met een vaste brandpuntsafstand wordt de beeldafstand (b) kleiner naarmate de voorwerpsafstand (v) groter wordt.
- Bijziendheid: voorwerpen van dichtbij kun je scherp waarnemen, voorwerpen van veraf niet.
- Verziendheid: voorwerpen van veraf kun je scherp waarnemen, voorwerpen van dichtbij niet.
- De pupilreflex beschermt lichtreceptoren in het netvlies tegen een te hoge lichtintensiteit.
 - Kringspieren en straalsgewijs lopende spieren bepalen de pupilgrootte.

LEERDOEL 4 ►► BASISSTOF 2

Je kunt de bouw en werking van het netvlies beschrijven en toelichten hoe je diepte kunt zien.

- Het netvlies bestaat uit drie lagen:
 - een laag neuronen: geleiden impulsen naar het centrale zenuwstelsel;
 - een laag lichtreceptoren (staafjes en kegeltjes): hierin ontstaan impulsen;
 - een pigmentlaag: absorbeert licht en beschermt hiermee zintuigcellen;
 - In de gele vlek wordt het scherpste beeld waargenomen.
- Staafjes en kegeltjes bevatten lichtgevoelige pigmenten.
- Met staafjes kun je contrasten waarnemen.
 - Meerdere staafjes zijn op één neuron aangesloten.
 - Staafjes zijn gevoelig voor verschillende kleuren licht, maar vrijwel ongevoelig voor rood licht.
- Met kegeltjes kun je kleuren en details waarnemen.
 - Er zijn drie typen kegeltjes die gevoelig zijn voor rood, groen of blauw licht.
 - De impulsen van elk kegeltje worden apart doorgegeven aan één neuron.
- Door adaptatie varieert de prikkelrempel voor licht bij kegeltjes en staafjes, afhankelijk van de lichtsterkte.
 - Donkeradaptatie duurt bij staafjes langer dan bij kegeltjes.
- Diepte zien (stereoscopie):
 - Optisch chiasma: de oogzenuwen kruisen elkaar gedeeltelijk.
 - Door de vergelijking van de beelden van beide ogen in de gezichtscentra kun je diepte waarnemen.

LEERDOEL 5 ►► BASISSTOF 3

Je kunt toelichten wat gedrag is en hoe gedrag is ingedeeld.

- Gedrag: alle waarneembare activiteiten van een dier of een mens.
 - Gedrag is opgebouwd uit opeenvolgende handelingen (gedragselementen).
 - Reacties van een dier of mens op prikkels noem je respons.
- Een handeling is respons op prikkels.
 - Gedragssysteem: handelingen met een gemeenschappelijk doel.
 - Gedragketen: als het effect van de ene handeling leidt tot een volgende handeling.
- Adequaat gedrag: de overlevingskansen en fitness van een dier worden vergroot wanneer het gedrag goed is aangepast aan de omstandigheden.

LEERDOEL 6 ►► BASISSTOF 3

Je kunt omschrijven wat ethologie inhoudt, hoe je gedrag kunt bestuderen en de invloed van gedragsonderzoek op de maatschappij toelichten.

- Ethologie: de studie van het gedrag.
 - Gedrag wordt bestudeerd door het op te splitsen in afzonderlijke handelingen.
 - Een etholoog kan de vorming van gedrag niet waarnemen (black box).
 - Met MRI kunnen activiteiten van hersendelen zichtbaar worden gemaakt bij het uitvoeren van handelingen.
 - Ethogram: een objectieve beschrijving van de handelingen van een diersoort.
 - Protocol: een lijst van achtereenvolgens waargenomen handelingen van een dier.

LEERDOEL 7 ►► BASISSTOF 4

Je kunt toelichten dat gedrag deels erfelijk is bepaald.

- Gedrag wordt bepaald door erfelijke factoren, ervaringen (leerprocessen), anatomie, fysiologische toestand, ontwikkelingsfase en prikkels.
- Sleutelprikkel: prikkel die een doorslaggevende rol speelt bij het ontstaan van bepaald gedrag.
 - De respons op een sleutelprikkel is gebaseerd op erfelijke informatie en is voorspelbaar.
- Supranormale prikkel: prikkel die een grotere kans op respons heeft dan de sleutelprikkel.
- Erfelijk bepaald gedrag zorgt voor een snelle, vaste reactie op prikkels, waardoor de overlevingskansen kan toenemen.

LEERDOEL 8 ►► BASISSTOF 4

Je kunt de dynamische relatie beschrijven tussen een organisme en zijn omgeving.

- Gedrag ontstaat door interactie met de omgeving.
 - Interne prikkels en externe prikkels bepalen de motivatie.
- Motivatie (drang) is de bereidheid om een bepaald gedragssysteem uit te voeren.
- Periodieke schommelingen van prikkelsterkten in het interne of externe milieu hebben invloed op het gedrag.
 - Veranderingen in het interne milieu volgen een biologische klok.

LEERDOEL 9 ►► BASISSTOF 5**Je kunt leerprocessen herkennen en beschrijven en de functie van leren uitleggen.**

- Leren: een duurzame gedragsverandering die wordt veroorzaakt door ervaring.
- Inprenting: vastleggen van een leerervaring gedurende een korte gevoelige periode.
- Gewenning: een bepaalde reactie op een prikkel wordt afgeleerd bij herhaling van die prikkel.
- Conditionering: een bepaald gedrag wordt geleerd door 'beloning' of 'straf'.
- Trial and error (proefondervindelijk leren): leren van de ervaringen die worden opgedaan bij het uitvoeren van bepaald gedrag onder natuurlijke omstandigheden.
 - Geconditioneerde reflex: een kunstmatige prikkel veroorzaakt een bepaald gedrag dat oorspronkelijk door een natuurlijke prikkel werd veroorzaakt (Pavlov-reactie).
 - In de Skinner-box wordt de respons van een dier op beloning onderzocht.
- Imitatie (nabootsing): leren door het gedrag van soortgenoten na te doen.
- Inzicht: in een onbekende situatie wordt de oplossing van een probleem gevonden door ervaringen op een andere wijze te combineren.

LEERDOEL 10 ►► BASISSTOF 6**Je kunt de functie van verschillende vormen van sociaal gedrag uitleggen en het verband aangeven met overlevingskansen.**

- Sociaal gedrag: gedrag van soortgenoten ten opzichte van elkaar.
- Signaal: handeling bij sociaal gedrag die als prikkel werkt voor de (volgende) handeling van een soortgenoot.
- Samenleven in een groep kan de kans op overleven vergroten.
- Balts: baltsgedrag dat aan de paring voorafgaat en de voortplantingsdrang vergroot.
- Territoriumgedrag: gedrag met als doel een territorium afbakenen en verdedigen.
 - Veel dieren vertonen op de grens van het territorium dreiggedrag.
- Conflictgedrag: gedrag dat ontstaat bij gelijke motivatie voor twee gedragssystemen.
 - Overspronggedrag: vorm van conflictgedrag met een signaalfunctie.

- Rangorde: volgorde binnen een groep dieren van dominant naar minst dominant.
 - Imponeergedrag: gedrag waarbij een dier zich zo groot en indrukwekkend mogelijk maakt.
 - Verzoeningsgedrag: gedrag van een ondergeschikt dier ten opzichte van een dominante soortgenoot.
- Staten: grote populatie insecten met een sterke taakverdeling, bijv. bij bijen.

LEERDOEL 11 ►► BASISSTOF 7**Je kunt overeenkomsten en verschillen in het gedrag van dieren en mensen beschrijven.**

- Mensapen communiceren met elkaar, kennen zelfbewustzijn, hebben empathisch vermogen en dragen kennis aan elkaar over.
- Bij dieren en mensen spelen erfelijke factoren (bijv. gezichtsuitdrukkingen bij mensen) en leerprocessen een rol.
 - Dieren en mensen vertonen o.a. territoriumgedrag, dreiggedrag en imponeergedrag.
- Het leervermogen van mensen is groter (o.a. door de grotere hersenen en ontwikkeling van de hersenschors) dan van dieren; mensen kunnen bewuste keuzen maken.
 - Mensen gebruiken taal en een cultuur met normen en waarden.
- Mensen hebben een empathisch vermogen: ze kunnen zich inleven in een situatie, gedachten en emoties van anderen.
 - Mensen steunen en troosten elkaar uit medeleven, zelfs zonder dat er een nauwe genetische verwantschap bestaat.
 - Ook mensapen, olifanten en prairiewoelmuizen hebben een empathisch vermogen.
 - Mensen kunnen nadenken over hun gedrag en het gedrag beoordelen (moreel bewustzijn).

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken, beoordelen en verwerken van informatie;
- analyseren welke rol ethologie heeft in beroepen en de dagelijkse praktijk;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- uitvoeren en presenteren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- verzamelen, bewerken en overzichtelijk weergeven van data;
- verklaren van mogelijkheden om te kunnen waarnemen op het niveau van organismen met behulp van evolutiemechanismen (evolutionair denken);
- verklaren van gedrag op het niveau van organismen en populaties met behulp van evolutiemechanismen (evolutionair denken);
- met elkaar in verband brengen van het zenuwstelsel en zintuigstelsel met verschillende organisatieniveaus (systeemdenken);
- met elkaar in verband brengen van vormen van gedrag en overlevingskansen op de niveaus van organismen en populaties (systeemdenken).

Examentrainer

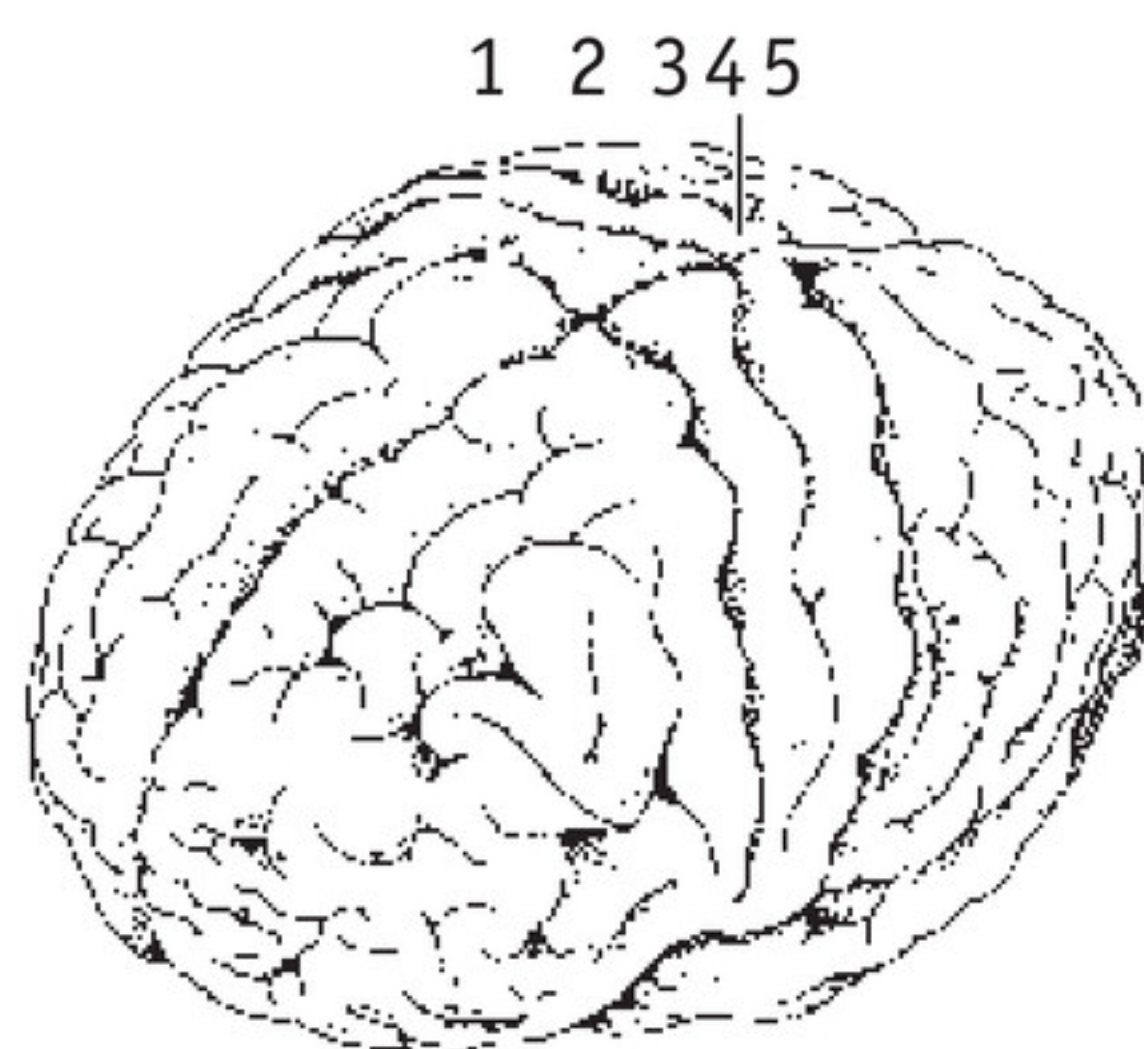
HERSENDORBLOEDING

Bron: examen vwo 2008-1, vraag 9 en 10.

In de hersenen kunnen *arterioveneuze malformaties* (AVM's) voorkomen. Een AVM is een misvorming in het haarvatennet tussen een slagadertje en een adertje, waardoor het slagadertje direct overgaat in het adertje. De overgang bestaat uit een sterk verwijd bloedvat dat om die reden wel 'spatader' wordt genoemd. AVM's kunnen tot bloedingen leiden, doordat in de 'spataderen' gemakkelijk scheurtjes ontstaan. De gevolgen van dergelijke bloedingen lopen sterk uiteen, afhankelijk van de plaats en de omvang. Zelfs zonder dat er bloedingen ontstaan, kunnen hinderlijke effecten optreden, variërend van acute hoofdpijn tot verlammingen.

In afbeelding 1 is een bovenaanzicht van de grote hersenen weergegeven. Een aantal delen is genummerd.

▼ **Afb. 1** Bovenaanzicht van de grote hersenen.



Bij een patiënt is een AVM de oorzaak van een verlamming in het rechterbeen.

- 2p **1** In welk van de genummerde delen van de grote hersenen bevindt zich de AVM die deze verlamming veroorzaakt?
- A in deel 1
 - B in deel 2
 - C in deel 3
 - D in deel 4
 - E in deel 5

LUI OOG VERHELPEN MET COMPUTER-SPELLETJES

Bron: pilot-examen vwo 2012-2, vraag 27 tot en met 32.

De 6-jarige Ben Michaels zag bijna niets meer met zijn rechteroog. Totdat artsen hem voorschreven om twee uur per dag *Mario Kart DS* (een racespel op de spelcomputer) te spelen.

Bij het spelen met *Mario Kart DS* werd zijn linkeroog afgeplakt (occlusietherapie) en mocht hij alleen zijn rechteroog gebruiken. Na een week zag hij al veel beter met dit oog. Ben Michaels had een 'lui oog'. In de medische wereld heet dit amblyopie. Amblyopie is een visuele afwijking waarbij de informatie van een van de ogen in de hersenschors wordt onderdrukt. Het komt bij kinderen vrij veel voor. Behandeling heeft eigenlijk pas zin als de oorzaak die tot het lui oog heeft geleid, uit de weg is geruimd.

Amblyopie kan worden veroorzaakt door elke situatie die de beeldvorming van een oog nadelig beïnvloedt. Een van de oorzaken is scheelzien, waarbij de ogen niet op hetzelfde punt worden gericht.

- 2p **2** Noem nog twee mogelijke oorzaken van amblyopie.
 3p **3** Leg uit waardoor scheelzien een lui oog kan veroorzaken.

In eerste instantie lukte het niet om het lui oog van Ben te behandelen. De arts schreef daarom atropine voor, dat regelmatig in het linkeroog moest worden gedruppeld. Een van de effecten van atropine is dat de pupil zich verwijdt. Ben kon tijdelijk zijn linkeroog niet voor dichtbij zien gebruiken, doordat ten gevolge van atropine ook zijn accommodatiespier tijdelijk niet werkte.

- 2p **4** Welke spieren in de iris van dat oog zijn ontspannen door de atropine? Zijn de lensbandjes in dat oog dan wel of niet gespannen door de atropine?
- | | |
|---------------------------------|-----------------------|
| <i>irisspieren die</i> | <i>de lensbandjes</i> |
| <i>ontspannen</i> | <i>zijn dan</i> |
| A kringspieren | niet gespannen |
| B kringspieren | gespannen |
| C straalsgewijs lopende spieren | niet gespannen |
| D straalsgewijs lopende spieren | gespannen |

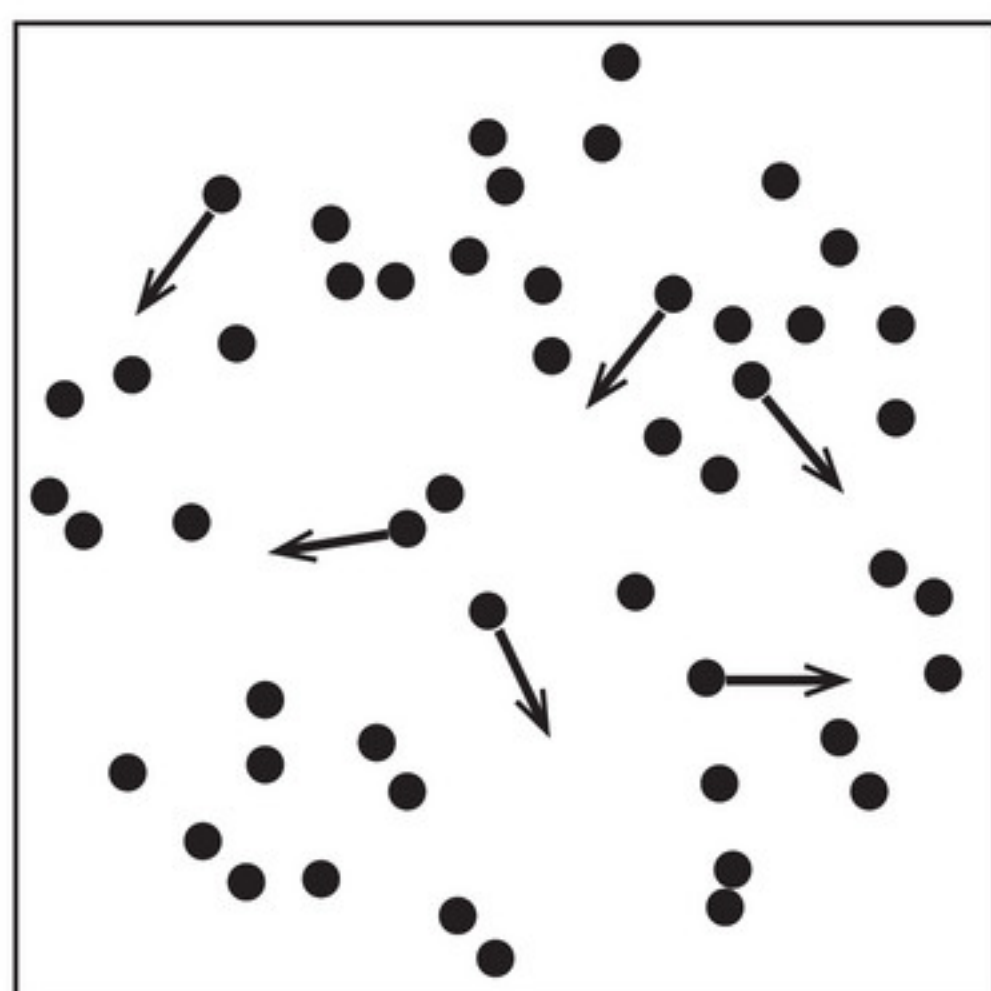
In plaats van atropine had de arts Ben ook een bril met een bepaalde sterkte voor het goede oog kunnen voorschrijven, waardoor dit oog zou worden beperkt in het dichtbij zien. Door dit glas zou er, als Ben iets van dichtbij bekijkt, geen scherp beeld op het netvlies vallen.

- 2p 5 Is het brillenglas voor het goede oog in dit geval divergerend of convergerend? Wordt, bij het dichtbij zien, het scherpe beeld hierdoor vóór of achter het netvlies van het goede oog geprojecteerd?

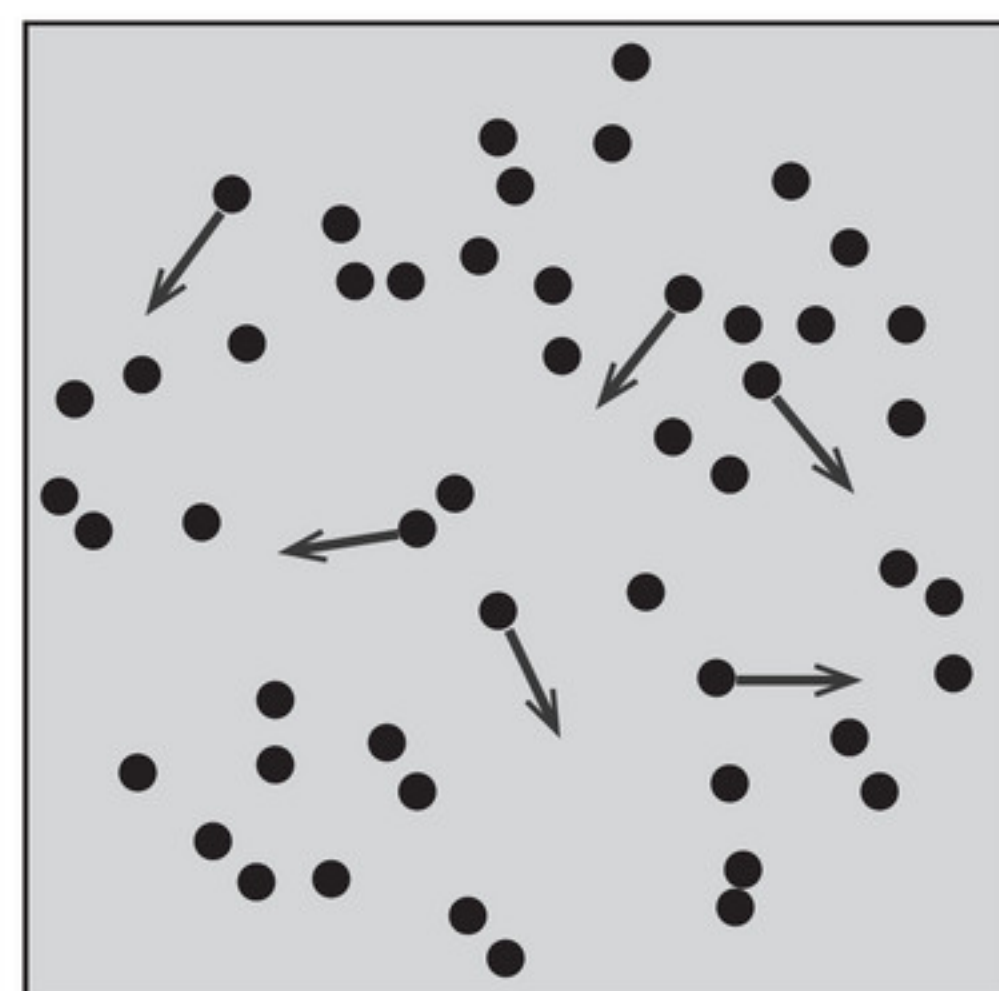
- brillenglas is* *scherp beeld valt*
- A convergerend voor het netvlies
- B convergerend achter het netvlies
- C divergerend voor het netvlies
- D divergerend achter het netvlies

Ben moest zijn luie oog goed oefenen. Op dit moment zijn daar allerlei hulpmiddelen voor. Ze komen erop neer dat een visuele taak telkens wordt herhaald. Eén techniek is erop gebaseerd dat men beelden aanbiedt, bijvoorbeeld bewegende stippen op een beeldscherm die weinig contrast met de achtergrond hebben (zie afbeelding 2). De nieuwste therapieën gaan ervan uit dat daarbij het goede oog niet mag worden afgeplakt, omdat dit ten koste gaat van de samenwerking van de ogen. Aan de McGill University in Montreal ontwikkelden orthoptisten een stereokijksysteem waarbij het luie oog andere informatie krijgt dan het goede oog. In een proef varieerden zij het contrast van de beelden die naar het goede en het luie oog werden gestuurd en noteerden hoe goed het luie oog dan was in het herkennen van bewegende stippen tegen een bepaalde achtergrond. Als gevolg van het variëren van het contrast veranderde ook het effect van de samenwerking tussen beide ogen.

- ▼ **Afb. 2** Beeld met maximaal en geleidelijk minder contrast.



1 beeld met maximaal contrast



2 beeld met geleidelijk minder contrast

Bij aanvang kregen beide ogen het beeld met maximaal contrast. De prestaties van het luie oog bij dit contrast zijn op 100% gesteld. Daarna werd het contrast voor het goede oog geleidelijk verminderd, van 0,8 naar 0,2. Een contrast van 0,2 betekent dat het goede oog vijfmaal minder contrastrijke beelden kreeg aangeboden dan het luie oog. Het contrast voor het luie oog werd maximaal gehouden. De resultaten van dit onderzoek zijn vermeld in de tabel (zie afbeelding 3).

- ▼ **Afb. 3** Meetresultaten.

Contrast van de beelden voor het goede oog	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,0
Gemiddelde prestatie van het luie oog	100%	116%	127%	130%	160%	

- 2p 6 Wat is in deze situatie waarschijnlijk de prestatie van het luie oog als het contrast van de beelden voor het goede oog is teruggebracht naar 0,0?

- A minder dan 100%
- B tussen de 100% en 160%
- C meer dan 160%

Onderzoeker Richard Eastgate van de Nottingham University ontwikkelde een autoracespel als therapie voor luie ogen. Eastgate dacht dat, om voldoende effect te bereiken, er net zo lang met dit spel moest worden gespeeld, als de gemiddelde tijdsduur van de occlusietherapie. Maar al na één uur racen werd hetzelfde resultaat bereikt als na 400 uur occlusie. Tijdens het spel dienen punten te worden gescoord. Deze punten worden verkregen als de bestuurder obstakels die hij tegenkomt ontwijkt. Een deel van het beeld in het spel is dynamisch: het verandert. De rest is statisch: het blijft gelijk.

- 2p 7 Welke beelden worden, om het luie oog te behandelen, tijdens de autorace naar het luie oog gestuurd en welke beelden naar het goede oog?

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| <i>naar het luie oog</i> | <i>naar het normale oog</i> |
| A dynamische beelden | dynamische beelden |
| B dynamische beelden | statische beelden |
| C statische beelden | dynamische beelden |

Olympiade

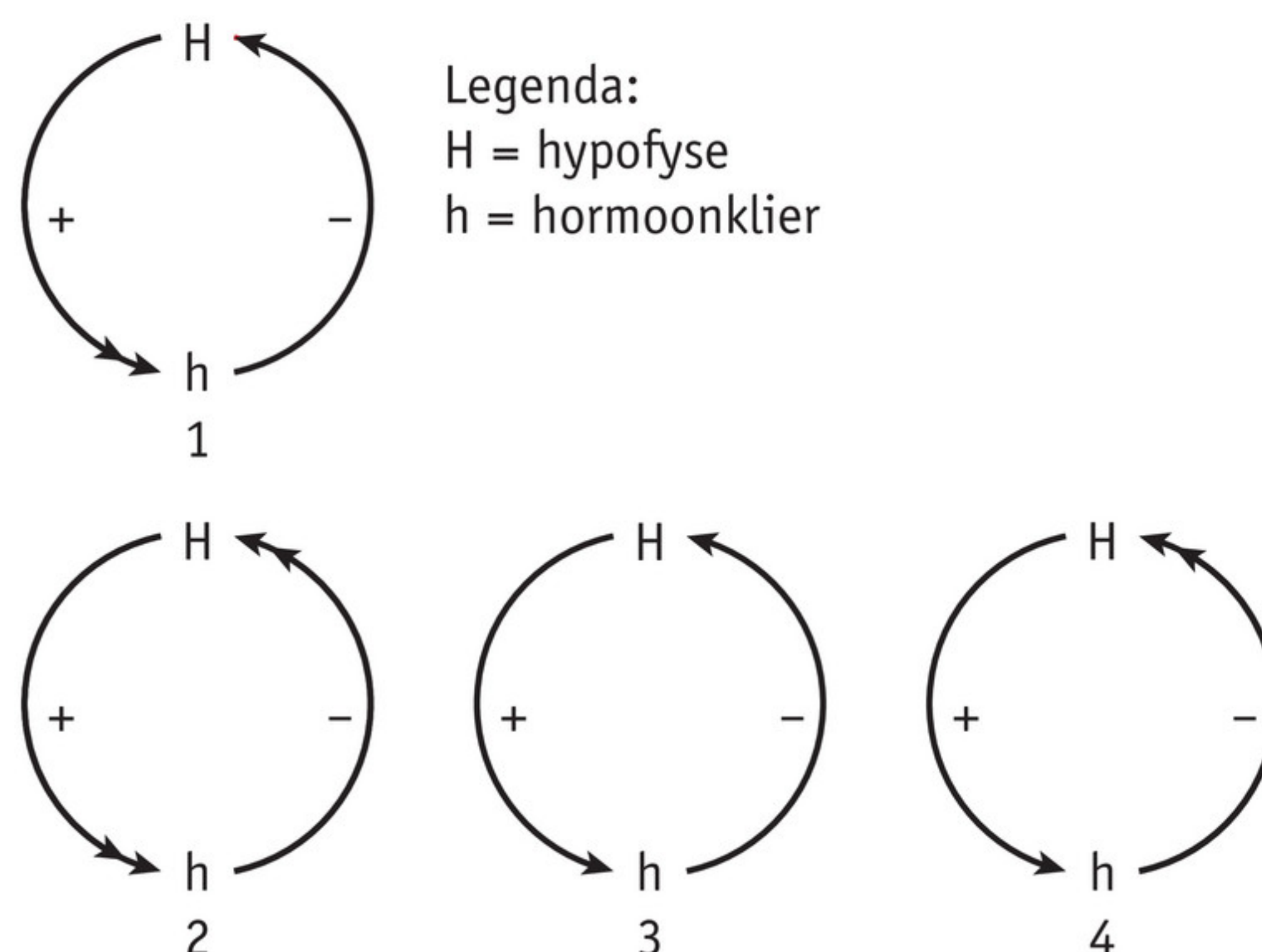
► VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 2006, VRAAG 25.

Sluit aan bij: T₁, BS₁ en BS₂

Feedback

- 1 Tussen de hypofyse (H) en een bepaalde hormoonklier (h) bestaat negatieve terugkoppeling. Schema 1 in afbeelding 1 geeft deze negatieve terugkoppeling weer, waarbij het aantal pijlpunten de sterkte aangeeft van de stimulering (+) dan wel remming (-). Als gevolg van de terugkoppeling in schema 1 veranderen de sterkte van de stimulering en van de remming. Deze veranderingen kunnen worden weergegeven zoals in schema 2, schema 3 en schema 4.

► Afb. 1



In welke volgorde moeten schema 2, 3 en 4 geplaatst worden om de terugkoppeling in de loop van de tijd juist weer te geven?

► VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 2015, VRAAG 38.

Sluit aan bij: T₁, BS₅

Pijnstilling

- 2 Theoretisch gezien kunnen stoffen op verschillende manieren in het zenuwstelsel de synaptische prikkeloverdracht beïnvloeden:
- I Ze zouden kunnen binden aan de receptoren op het postsynaptisch membraan die gekoppeld zijn aan K⁺-poorten waardoor deze poorten open blijven.
 - II Ze zouden kunnen binden aan de receptoren op het postsynaptisch membraan die gekoppeld zijn aan Na⁺-poorten waardoor deze poorten open blijven.
 - III Ze zouden de werking kunnen remmen van enzymen die de afbraak van inhiberende neurotransmitters in de synapsspleet stimuleren.
 - IV Ze zouden de opslag van exciterende neurotransmitters in de synapsblaasjes van het presynaptisch einde kunnen bevorderen.
 - V Ze zouden het vrijgeven van inhiberende neurotransmitters aan de synapsspleet kunnen afremmen.

Geef voor iedere manier van beïnvloeding aan of deze wel of niet past bij een stof met een pijnstillende werking.

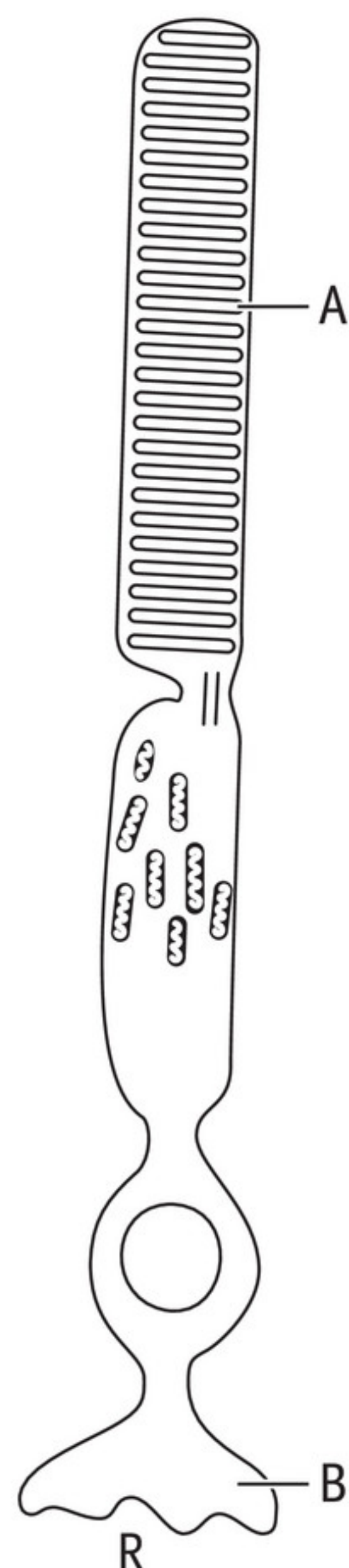
► VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 1996, VRAAG 1.

Sluit aan bij: T2, BS2

Zintuigcel in het oog

- 3 Op afbeelding 2 is een bepaalde cel die voorkomt in een oog van een mens weergegeven. Noteer het nummer van de juiste bewering of de nummers van de juiste beweringen over deze cel. Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 82B).

► Afb. 2



- 1 De met A aangegeven kant van de cel ligt meer aan de buitenkant van een oogbol dan de met B aangegeven kant.
- 2 Op plaats R bevindt zich een synaptische spleet.
- 3 De structuren in het met A aangegeven deel van de cel hebben vooral als functie zoveel mogelijk licht doorlaten.
- 4 Op plaats B is de concentratie vitamine A hoger dan op plaats A.

► VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 1994, VRAAG 63-64.

Sluit aan bij: T2, BS5

Jachtluipaarden

- 4 Jachtluipaarden zijn roofdieren, die op de Afrikaanse savanne leven. Als jonge jachtluipaarden ongeveer één jaar oud zijn, gaan ze voor het eerst zelf op jacht. Bij de jacht rennen zowel volwassen als jonge luipaarden snel achter hun prooi aan. Vooral jonge prooidieren stoppen tijdens zo'n achtervolging nogal eens. Ze gaan stilstaan of zelfs liggen. Volwassen jachtluipaarden grijpen deze kans aan om hun prooidier

onmiddellijk te doden. Wat opvalt is dat jonge luipaarden, die voor het eerst zelf jagen, niets meer doen als het prooidier stopt met rennen, gaat liggen en zich niet meer beweegt. De jonge jachtluipaarden stoppen met de jacht en lopen wat onwennig rond het prooidier. De jacht wordt onmiddellijk hervat als het prooidier weer probeert te ontsnappen.

- a** Wat is volgens de tekst de sleutelprikkel voor het jachtgedrag van de jonge luipaarden?
- A honger
 - B instinct
 - C rennend dier
 - D bijten van het oudere jachtluipaard

Als jonge jachtluipaarden onder leiding van de moeder een aantal malen zelf een prooi hebben gevangen, vertonen zij het gedrag van stoppen met jagen en niet doden van een stilliggend prooidier niet meer.

- b** Welke twee typen leren kunnen van toepassing zijn op deze verandering van gedrag bij de jonge jachtluipaarden?
- A conditionering en imitatie
 - B dresseren en inzicht
 - C dresseren en conditionering
 - D inprenting en gewenning
 - E inprenting en inzicht

A

absolute refractaire	43
accommodatiespieren	90
achterste oogkamer	87
accommoderen	90
ACTH	17
actiepotentiaal	43
actine	54
adaptatie	83
adequaat gedrag	99
adequate prikkel	83
ADH	18
adrenaline	22
adrenocorticotroop hormoon (ACTH) ..	17
alles-of-nietsprincipe	44
anabole steroïden	59
animale zenuwstelsel	26
antagonisten	58
antidiuretisch hormoon (ADH)	18
autonome zenuwstelsel	26
axon (neuriet)	28

B

balts	101
beeldafstand	91
betrouwbaar onderzoek	62
bewegingscentra	32
bijniermerk	22
bijnierschors	22
bijziend	92
biologische klok	109
black box	99
blinde vlek	87
bloedsuikerspiegel	21
box, black	99
brandpunt	90
brandpuntsafstand	90
broedzorg	101

C

cascade	14
cell junction	28
cellen van Schwann	28
chemische receptoren	83
chiasma, optisch	97
communiceren	122
conditionering	116
conductoren	27
conflictgedrag	124
convergeren	90
cortisol	22

D

deel, orthosympatische	39
deel, parasympatische	40
dendriet	28
depolarisatie	43
divergeren	90
doelwitorgaan	13, 40
donkeradaptatie	95
doping	59
dreiggedrag	124
drempelwaarde	43
drukreceptoren	83
dubbele innervatie	40
duurtraining	59
dwarsgestreept spierweefsel	52
dynamisch evenwicht	10

E

eenheid, motorische	53
effectoren	27
eindplaatjes, motorische	53
empathie	129
endocriene klieren	13
epo (erytropoëetine)	22
erfelijke eigenschappen	106
error, trial and	116
erytropoëetine	22
ESP	47
ethologie	99
evenwicht, dynamisch	10
evenwichtsreceptoren	83
exciterende postsynaptische potentiaal (EPSP)	47
externe prikkels	82

F

filamenten	54
------------------	----

G

ganglia, spinale	34
geconditioneerde reflex	116
gedag, geritualiseerd	123
gedrag	99
gedrag, adequaat	99
gedrag, sociaal	122
gedragselementen	99
gedragssketen	100
gedragssystemen	100
gehoorreceptoren	83
gele vlek	87
geritualiseerd gedrag	123
gevoelige periode	115

gevoelscentra	32
gewenning	115
GH	17
glad spierweefsel	52
glasachtig lichaam	87
gliacellen	27
Golgi-peeslichaampjes	58
grijze stof	30
groeihormoon (GH)	17
grote hersenen	30

H

handelingen	99
harde oogvlies	86
hartspierweefsel	52
hersencentra	32
hersen, grote	30
hersen, kleine	30
herschors	30
hersenstam	31
homeostase	10
hoornvlies	86
hormonen	13
hormonen, inhibiting (IH)	17
hormonen, releasing (RH)	17
hormoon, adrenocorticotroop (ACTH) ..	17
hormoon, antidiuretisch (ADH)	18
hormoon-receptorcomplex	14
hormoonspiegel	13
hormoonstelsel	16
hyperpolarisatie	43
hypofyse	16

I

IH	17
impulsen	27
impulsfrequentie	44
impulsgeleding, saltatoire	45
impulsgeleiding, sprongsgewijze	45
impulssterkte	44
inhiberende postsynaptische potentiaal (IPSP)	48
inhibiting hormonen (IH)	17
innervatie, dubbele	40
innervieren	40
inprenting	115
interne prikkels	82
invloeden, periodieke	107
inwendige milieu	11
ionenpomp	42
IPSP	47

- J**
junction, cell 28
- K**
K⁺-kanalen 43
kegeltjes 95
kleine hersenen 30
klieren, endocriene 13
klok, biologische 108
krachttraining 59
- L**
leervermogen 129
lenzen, negatieve 90
lenzen, positieve 90
lichaam, glasachtig 87
lichaam, straalvorming 87
lichtreceptoren 83
- M**
mechanische receptoren 82
membraan, postsynaptisch 47
membraan, presynaptisch 47
merg 30
merg, verlengde 31
messenger, second 14
milieu, inwendige 11
milieu, uitwendige 11
motivatie 107
motorische eenheid 53
motorische eindplaatjes 53
motorische neuronen 28
myelineschede 28
myofibrillen 54
myoglobine 56
myosine 54
- N**
Na⁺-kanalen 42
nachtblindheid 96
natrium-kaliumpompen 42
negatieve lenzen 90
negatieve terugkoppeling 10
netvlies 87
neuriet 28
neurohormonen 17
neuronen (zenuwcellen) 27
neuronen, motorische 28
neuronen, sensorische 28
neurosecretie 17
neurotransmitters 27
normwaarde 10
- O**
onderzoek, betrouwbaar 62
onderzoek, valide 62
onzekerheid 61
oogkamer, achterste 87
oogkamer, voorstel 87
ooglens 87
oogvlies, harde 86
optisch chiasma 97
orthosympatische deel 39
overspronggedrag 124
oxytocine 18
- P**
parasympatische deel 40
peesspoeltjes 58
perifere zenuwstelsel 26
periode, gevoelige 115
periode, refractaire 43
periodieke invloeden 107
pezen 53
pijnreceptoren 83
pikorde 125
pigmenten 86
positieve lenzen 90
positieve terugkoppeling 10
postsynaptisch membraan 47
potentiaal, inhiberende
postsynaptische (IPSP) 47
potentiaal, exciterende
postsynaptische (ESP) 47
presynaptisch membraan 47
prikkel, adequate 83
prikkel, supranormale 109
prikkel drempel 44, 83
prikkel 27
prikkel, externe 82
prikkel, interne 82
proefondervindelijk 116
prolactine 18
proprioceptoren 82
pupilreflex 93
p-waarde 61
- R**
rangorde 125
receptoren 13, 27
receptoren, chemische 83
receptoren, mechanische 82
reflex 37
reflex, geconditioneerde 116
reflexboog 38
- refractaire periode, absolute 43
refractaire periode, relatieve 43
regelkring 10
regenboogvlies 84
relatieve refractaire periode 43
relaxatie 58
releasing hormonen (RH) 17
repolarisatie 43
respons 99
RH 17
rustpotential 42
- S**
saltatoire impulsgeleiding 45
sarcomeren 54
schakelneuronen 28
schildklier 19
schildklierhormoon 19
Schwann, cellen van 28
second messenger 14
sensorische neuronen 28
signaalcascade 14
signaalmoleculen 13
signaalstoffen 13
signalen 122
significant 61
sociaal gedrag 122
spierbundels 53
spieren, straalsgewijs lopende 93
spierfibrillen 54
spierschede 53
spierspanning 57
spierspoeltjes 58
spiertonus 57
spiervezels 52
spierweefsel, dwarsgestreept 52
spierweefsel, glad 52
spijsverteringshormonen 21
spinale ganglia 34
sprongsgewijze impulsgeleiding 45
staten 125
steroïden, anabole 59
stof, grijze 30
stof, witte 30
straalsgewijs lopende spieren 93
straalvorming lichaam 87
supranormale prikkel 109
synapsen 28
- T**
tastreceptoren 83
temperatuurreceptoren 83

territoriumgedrag	124
terugkoppeling, negatieve	10
terugkoppeling, positieve	10
trial and error	116

U

uitwendige milieu	11
-------------------------	----

V

vaatvlies	87
valide onderzoek	62
vegatieve zenuwstelsel	26
verlengde merg	31
verziend	92
verzoeningsgedrag	125
verzuring	56
vlek, blinde	87
vlek, gele	87
vorste oogkamer	87
voortplantingsgedrag	101
voortplantingsprikkel	109
voorwerpsafstand	91

W

waarschijnlijkheid	61
warming-up	59
witte stof	30

Z

zenuwcellen	27
zenuwen	28
zenuwstelsel	26
zenuwstelsel, animale	26
zenuwstelsel, autonome	26
zenuwstelsel, perifere	26
zenuwstelsel, vegatieve	26

AUTEURS

Deze release bouwt voort op vorige edities van BVJ geschreven door:

Arteunis Bos, Marianne Gommers, Arthur Jansen, Onno Kalverda, André van Leijen, Ruud Passier, Hans Rawee, Theo de Rouw, Gerard Smits, Ben Waas, René Westra

REDACTIE

Ivonne Hermens, Grada Hooijer

FOTO'S EN ILLUSTRATIES

123RF: thema 2: 23, 34, 43, 45, 50, 52, 54, 65.1; Stichting ALS Nederland: thema 1: 29; ANP Photo, Rijswijk: thema 1: 10, 70; Tessa van den Berg: thema 1: ontdekken lb; Teun Berserik, Den Haag: thema 1: 23; Dreamstime: thema 2: 46; Erik Eshuis Infographics, Groningen: thema 1: ontdekken 1, ontdekken 2, 2, 14, 15, 30, 33, 48, 51, 52, 54, 69, samenhang 2; thema 2: 4, 5, 19, 22, 24, 29, 31, 33, 37, 56 0, 57, 73, practica 3; olympiade: 1, 2; Uit examen: thema 1: examentrainer 1, examentrainer 2, examentrainer 3; thema 2: examentrainer 1, examentrainer 2; FMRIB Centre, Nuffiel Department of Clinical Neurosciences, University of Oxford: thema 1: 39; Getty Images: thema 1: 25, practica 2; thema 2: ontdekken lb, ontdekken 2, 76.2; Hollandse Hoogte, Den Haag: thema 1: 11; thema 2: 47, 62; Imageselect, Wassenaar: thema 1: 21, 37, 56.2, 58; thema 2: ontdekken 1, 6.2, 28, 51.1, 64, 65.2, 76.1, 76.3; Zachary Johnson, Emory University: thema 2: samenhang 1; Medical Visuals / Maartje Kunen, Arnhem: thema 1: 3, 4, 5, 8, 9, 18, 19, 20, 24, 26, 31, 32, 35, 38, 43, 44, 46, 55, 56 b, 59.2, 61, 62, 63, samenhang 1; thema 2: 2.1, 7, 9, 16, 17, 18, 26; Cyril Ruoso / Biosphoto / Nature in Stock, Rotterdam: thema 2: 59; Science Photo Library / ANP Photo, Rijswijk: thema 1: 13, 16.2, 42, 56.1, 56.3, 59.1; thema 2: 20; Shutterstock: thema 1: 67.1, 67.2, 68; thema 2: 6.1, 25, 30, 61, 68, 74, 75, 78; Ingrid Robers, Amsterdam: thema 2: 49.2; Stichting TeamAlert, Utrecht: thema 2: 36; Bas Teunis Zoölogical Illustrations, Sinderen: thema 2: 35, 63; Henk van de Vrande: thema 1: 57, 66; thema 2: 1, 11, 12, 13; Wereld Natuur Fonds, Zeist: thema 2: 48.

ONTWERP

Uitgeverij Malmberg

OPMAAK

Pointer grafische vormgeving, Geldrop

BEELDVERWERVING

B en U International Picture Service, Amsterdam

BEELDEN OMSLAG EN THEMAOPENINGEN

omslag: macro vogelmuur, Getty Images
thema 1: inlineskaters, ANP Photo, Rijswijk
thema 2: stokstaartjes, Getty Images

De uitgever heeft getracht met alle rechthebbenden op beelden en tekst in contact te treden. Mogelijk is dit niet in alle gevallen gelukt. Degene die meent op beelden en/of tekst recht te kunnen doen gelden, wordt verzocht in contact te treden met Uitgeverij Malmberg te 's-Hertogenbosch.

ISBN 978 94 020 6507 7

Release 2020, eerste oplage

MALMBERG

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, St.b. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van

23 augustus 1985, St.b. 471, en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

© Malmberg 's-Hertogenbosch



Je mag dit boek houden.
Handig als naslagwerk.



Je mag in dit boek schrijven
en aantekeningen maken.



Je hebt ook toegang tot
de online leeromgeving.

EINDREDACTIE

Ilse Gmelig

Lineke Pijnappels

AUTEURS

Marianne Gommers

Arthur Jansen

André van Leijen

Hans Rawee

Theo de Rouw

MET MEDEWERKING VAN

Daniël van Draanen

Paula van Kranenburg

Cees Mulder

Marten Mulder

René Westra

ISBN 978 94 020 6507 7



9 789402 065077

593621